

# COMMENT CONCILIER TRANSITION NUMÉRIQUE ET TRANSITION ÉCOLOGIQUE?

Par  
Martin Deron

Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue  
de l'obtention du grade de maîtrise en environnement (M. Env)

Sous la direction de Mélanie McDonald

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT  
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Juin 2020

## SOMMAIRE

Mots clés : transition numérique, transition écologique, analyse prospective, chemins de transition, scénarios d'évolution.

Le numérique est l'une des forces majeures de transformation de nos sociétés, et l'un des principaux leviers de la croissance et de la compétitivité des entreprises au Québec. Or, l'empreinte environnementale du secteur est souvent sous-estimée par ses utilisateurs et les pouvoirs publics qui voient les applications numériques sous l'angle de la dématérialisation. En effet, malgré les gains d'efficacité énergétique de cette industrie, la multiplication des objets connectés et l'explosion des usages contribuent à la hausse des émissions de gaz à effet de serre et de la demande en ressources, au moment même où la lutte aux changements climatiques demanderait un effort considérable pour les faire diminuer.

Le but de cet essai est d'évaluer les trajectoires d'évolution possibles au Québec pour concilier transition numérique et transition écologique à l'horizon 2040. Pour ce faire, une analyse prospective est réalisée à partir de la synthèse des principaux enjeux connexes aux deux transitions. Ces éléments sont décrits puis intégrés à une série d'hypothèses d'évolution au sein d'un tableau morphologique. De cette analyse systémique découlent quatre scénarios prospectifs contrastés pour le Québec en 2040. Ceux-ci explorent des avenir radicalement différents et permettent d'illustrer l'étendue des évolutions possibles.

À la lumière des enjeux identifiés et de leur manifestation à travers les scénarios prospectifs, des recommandations sont formulées pour amorcer la démarche d'une convergence entre les deux transitions au Québec. Notamment, cet essai propose de réutiliser les scénarios développés pour nourrir des arènes de discussion multidisciplinaires et multiacteurs afin d'identifier collectivement les trajectoires souhaitables et celles que l'on veut éviter. Il y est également suggéré d'accompagner les stratégies de transition d'indicateurs pour quantifier les besoins en énergie et en ressource, d'établir un cadre de contrôle des données personnelles et de prendre en compte le contexte québécois particulier.

## REMERCIEMENTS

Je voudrais, tout d’abord, remercier ma directrice d’essai Mélanie McDonald pour son soutien et sa grande disponibilité tout au long de ce projet. Mélanie, je suis très reconnaissant pour toute l’aide que tu m’as apportée et tes encouragements tout au long du processus. Tu as su me guider avec brio dans cette aventure et c’est réel un plaisir de travailler avec toi.

J’aimerais ensuite remercier l’équipe de Chemins de transition, en particulier Franck et Manon. Franck, tu m’as fait découvrir l’univers fascinant de la prospective avec la pédagogie et la bienveillance qui te caractérisent. Manon, j’ai beaucoup apprécié nos discussions autour de la transition qui m’ont systématiquement poussé à approfondir ma réflexion. J’aimerais aussi te remercier pour tes encouragements et tes relectures attentives, en particulier pendant les fins de semaine ensoleillées où tu avais sûrement mieux à faire.

Je tiens également à remercier chaleureusement mes proches, source inépuisable de soutien et d’encouragements. Mille mercis, à mes parents Isabelle et Bernard et à ma sœur Juliette pour le support inconditionnel dont vous m’avez fait cadeau tout au long de mon parcours académique.

Enfin, je voudrais remercier ma partenaire Emmanuelle qui est allée *above and beyond* pour me garder motivé, heureux et en santé à travers ce long processus rédactionnel.

## TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
1. MISE EN CONTEXTE .....	4
1.1 Chemins de transition.....	4
1.2 La transition numérique .....	4
1.2.1 Définition et catégorisation de la transition numérique .....	5
1.2.2 Le numérique, une force de changement .....	5
1.2.3 Un univers en expansion.....	8
1.2.4 Une transition en quête de sens.....	8
1.3 La transition écologique.....	9
1.3.1 Définition et catégorisation de la transition écologique.....	9
1.3.2 La transition écologique, une réponse nécessaire à la dégradation environnementale ....	9
1.3.3 Une transition à anticiper .....	15
1.4 Le besoin de concilier les deux transitions .....	16
2. MÉTHODOLOGIE .....	19
2.1 Le processus de veille .....	19
2.1.1 Identifier.....	20
2.1.2 Comprendre .....	20
2.1.3 Contextualiser .....	20
2.1.4 Anticiper .....	21
2.2 La prospective stratégique.....	21
2.2.1 En pratique.....	21
2.2.2 Les ingrédients de la prospective.....	22
2.2.3 L'analyse morphologique .....	23
3. LES INGRÉDIENTS DE LA PROSPECTIVE .....	26
3.1 Culture et éthique du numérique .....	26

3.1.1 Les constats.....	26
3.1.2 Les tendances.....	27
3.1.3 Les signaux faibles.....	29
3.1.4 Les questions non résolues .....	30
3.2 La place du numérique dans le système socioéconomique .....	31
3.2.1 Les constats.....	31
3.2.2 Les tendances.....	32
3.2.3 Les signaux faibles.....	34
3.2.4 Les questions non résolues .....	35
3.3 La gestion des ressources naturelles .....	36
3.3.1 Les constats.....	36
3.3.2 Les tendances.....	37
3.3.3 Les signaux faibles.....	39
3.3.4 Les questions non résolues .....	40
3.4 La transition numérique dans trois grands domaines .....	41
3.4.1 La transition numérique dans la santé.....	41
3.4.2 La transition numérique dans le travail.....	44
3.4.3 La transition numérique dans l'éducation.....	45
4. LE DÉVELOPPEMENT DE SCÉNARIOS PROSPECTIFS .....	49
4.1 Les paramètres du système.....	49
Le système .....	49
Les variables .....	49
4.2 Les hypothèses d'évolution.....	49
4.2.1 La place du numérique dans le système socioéconomique.....	49
4.2.2 La gouvernance climatique.....	51
4.2.3 La culture et l'éthique du numérique .....	52
4.2.4 Le contexte géopolitique des ressources.....	53

4.2.5 Le travail.....	54
4.3 Le tableau morphologique.....	56
4.4 Les scénarios .....	57
4.4.1 Des GAFAM qui vous veulent du bien.....	57
4.4.2 Souveraineté 2.0.....	59
4.4.3 Des villes low-tech.....	61
4.4.4 Une IA mondialisée pour tous .....	63
4.5 S’emparer des scénarios .....	65
5. RECOMMANDATIONS.....	66
5.1 Inclure les citoyens dans les discussions.....	66
5.2 Tracer des chemins concrets .....	66
5.3 Intégrer les limites planétaires dans les chemins .....	67
5.4 Davantage encadrer la collecte et l’utilisation des données personnelles.....	67
5.5 Changer de discours dominant .....	67
5.6 Prendre la mesure de la place du Québec.....	68
6. LIMITES .....	69
6.1 Des changements à mi-parcours.....	69
6.2 Une veille non exhaustive .....	69
CONCLUSION .....	70
RÉFÉRENCES.....	72

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Évolution de la consommation d'énergie par personne, en moyenne mondiale, depuis 1860 ..	10
Figure 1.2 Évolution de la température moyenne annuelle mondiale de 1850 à 2017.....	13
Figure 1.3 Répartition des émissions de CO2 par combustible .....	14
Figure 1.4 Concentration de CO2 atmosphérique .....	14
Figure 2.1 Les quatre étapes du processus de veille.....	19
Figure 2.2 Exemple de tableau morphologique .....	24
Figure 2.3 Tableau morphologique d'un système .....	25
Figure 4.1 Tableau morphologique .....	56
Figure 4.2 Composition du premier scénario prospectif .....	58
Figure 4.3 Composition du deuxième scénario prospectif .....	60
Figure 4.4 Composition du troisième scénario prospectif.....	62
Figure 4.5 Composition du quatrième scénario prospectif.....	64

## LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

ADEME	Agence de l'environnement de la maîtrise de l'énergie
AIE	Agence internationale de l'énergie
BATX	Baidu, Alibaba, Tencent, Xiami
CdT	Chemins de transition
CEFRIO	Centre facilitant la recherche et l'innovation dans les organisations
CH <sub>4</sub>	Méthane
CNIL	Commission nationale de l'informatique et des libertés de France
Cnom	Conseil national de l'ordre des médecins français
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
FING	Fondation Internet Nouvelle Génération
GAFAM	Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GSMA	<i>Groupe Special Mobile Association</i>
IA	Intelligence artificielle
IPBES	<i>Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services</i>
MEES	Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur
MEIE	Ministère de l'Économie et de l'Innovation
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MTES	Ministère de la Transition écologique et solidaire
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
N <sub>2</sub> O	Protoxyde d'azote
O <sub>3</sub>	Ozone
OMM	Organisation météorologique mondiale
ONUAA	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
TIC	Technologies de l'information et de la communication
UIT	Union Internationale des Télécommunications
WWF	<i>World Wildlife Fund</i>



## LEXIQUE

Algorithme	« Un algorithme est une méthode de résolution de problèmes par une suite finie et non ambiguë d'opérations. Plus précisément dans le domaine de l'intelligence artificielle, il s'agit de la suite d'opérations appliquées aux données d'entrées pour arriver au résultat désiré » (Dilhac et al., 2018).
Apprentissage machine	« L'apprentissage machine est la branche de l'intelligence artificielle qui consiste à programmer un algorithme à apprendre par lui-même » (Dilhac et al., 2018).
Analyse morphologique	« L'analyse morphologique vise à explorer de manière systématique les futurs possibles, à partir de l'étude de toutes les combinaisons des divers éléments issus de la décomposition d'un système » (Futuribles International, 2018)
Effet rebond	« L'effet rebond est le mécanisme par lequel une plus grande efficacité énergétique ou une meilleure performance environnementale des biens, équipements et services, conduit à une augmentation plus que proportionnelle de leur consommation » (Dilhac et al., 2018).
Intelligence artificielle	« L'intelligence artificielle (IA) désigne l'ensemble des techniques qui permettent à une machine de simuler l'intelligence humaine, notamment pour apprendre, prédire, prendre des décisions et percevoir le monde environnant » (Dilhac et al., 2018).
Prospective	« La prospective est une démarche collective pour élaborer un projet commun; [...] la prospective relie action, réflexion et appropriation; la prospective est par nature interdisciplinaire; [...] la prospective est une combinaison d'approches rationnelle (expertise) et créatrice (imagination); [...] la prospective s'appuie sur la veille, l'évaluation et l'expertise, sur l'analyse des tendances et des ruptures; [...] la prospective définit les cheminements reliant court terme et long terme » (Guigou, 2006)

## INTRODUCTION

L'élan d'espoir qui accompagnait la convention de Kyoto et le rapport Brundtland à la fin du 20<sup>e</sup> siècle semble s'être progressivement affaibli face à l'apparente inertie des sociétés industrielles à réduire leur empreinte sur le monde naturel. Chaque nouvelle sortie de rapport scientifique sur le climat et la biodiversité confirme un peu plus l'ampleur de la dégradation écologique causée par les activités anthropiques. En 2018, le réchauffement climatique avait atteint 1 °C par rapport aux niveaux préindustriels, et pourrait atteindre jusqu'à 4 ou 5 °C d'ici la fin du siècle si les tendances sont maintenues (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [GIEC], 2018). Conjointement, la fonte rapide des glaces pourrait provoquer la montée du niveau de eaux de 43 à 84 centimètres d'ici 2100 (GIEC, 2019), mettant en péril d'ici là les conditions d'existence de 1 à 3 milliards de personnes (Xu et al., 2020). En parallèle, la Terre a vu ses populations de vertébrés sauvages décliner de 60 % entre 1970 et 2014 (WWF, 2018) et plus d'un million d'espèces animales et végétales sont actuellement menacées d'extinction (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services [IPBES], 2019). La communauté scientifique est claire : nous ne pouvons pas continuer ainsi indéfiniment.

Depuis les dernières années, le constat de l'insoutenabilité de nos modes de production et de consommation nourrit une demande de changement sociétal, portée par des mouvements citoyens de plus en plus nombreux tels que *Fridays for Future*, *La Planète s'invite au parlement* ou encore *Extinction Rebellion*. Certains appellent à la prise d'actions immédiates et conséquentes par les gouvernements pour « agir sur le dérèglement climatique et la perte massive et globale de biodiversité » et enclencher ce qu'ils appellent communément « la transition écologique » (*La Planète s'invite au Parlement*, 2019). Le terme « transition » signifie le passage d'un état à un autre, mais il est communément utilisé pour parler d'un processus de transformation profonde, multidimensionnelle et de long terme, de l'ensemble de notre système vers un nouvel équilibre (Hölscher, Wittmayer et Loorbach, 2018). Nos sociétés étant en constante évolution face aux opportunités et contraintes qui se présentent à elles, cette période de transformation est déjà enclenchée. En l'état actuel, cette transformation tente de s'adapter aux conséquences perceptibles de la crise écologique sans se préparer à une aggravation de celle-ci, qui sera désastreuse pour l'humanité et le reste du vivant. Aujourd'hui la question n'est plus de savoir si la transition écologique aura lieu, mais plutôt si celle-ci sera subie ou au moins partiellement choisie.

Plusieurs critiques dénoncent une inaction climatique de la part des gouvernements fédéral et provincial, qui semblent vouloir poursuivre un statu quo dont les répercussions environnementales semblent limitées (*La Planète s'invite à l'Université de Sherbrooke*, 2019). Pour atteindre ses objectifs de réduction d'émissions de gaz à effet de serre de 37.5 % avant 2030 et de 80 % en 2050, le Québec devra passer par une reconfiguration totale de la société.

En analysant le dernier budget provincial 2020-2021, on observe que les efforts en matière de lutte aux changements climatiques se concentrent principalement autour de l'électrification des transports et des systèmes de chauffage ainsi que de l'accompagnement des entreprises à travers le marché du carbone (Finances Québec, 2020). Parmi les secteurs à surveiller concernant leur compatibilité avec les impératifs énergétiques et climatiques, plusieurs manquent dont celui du numérique qui représente à lui seul 4% des émissions mondiales de gaz à effet de serre (The Shift Project, 2019).

Le numérique, véritable force de transformation de nos sociétés et « cœur de la croissance et de la compétitivité des entreprises » (Ministère de l'Économie et l'Innovation [MEIE], s. d.) est aujourd'hui un secteur en voie de devenir l'un des principaux leviers de développement économique et social au Québec. Près d'un milliard de dollars de financement réparti sur cinq ans est dédié à accompagner la société québécoise dans sa transition numérique par le soutien à 10 000 entreprises (Finances Québec, 2020). Or l'empreinte matérielle du numérique est souvent sous-estimée par ses utilisateurs et les pouvoirs publics. En effet, malgré les gains d'efficacité énergétique de cette industrie, la fabrication et l'usage d'un nombre croissant d'objets connectés risquent de faire exploser les émissions de gaz effet de serre, au moment même où la lutte aux changements climatiques demanderait un effort drastique pour les faire diminuer (The Shift Project, 2018). De ce fait, les effets négatifs de la transition numérique vont devenir un enjeu politique et social majeur alors même que les usagers ne sont pas conscients de l'impact écologique de leurs consommations numériques. Les promesses du numérique en termes d'efficacité énergétique (pour se déplacer, se loger, se nourrir) valent-elles l'augmentation de sa facture environnementale, compte tenu du peu de temps dont l'humanité dispose pour réduire son empreinte? Doit-on arbitrer entre les usages numériques essentiels au maintien du bien-être et ceux dédiés aux loisirs et à la sociabilité interpersonnelle?

L'objectif principal de cet essai est d'évaluer les trajectoires d'évolution possibles au Québec pour concilier transition numérique et transition écologique à l'horizon 2040. Pour y parvenir, cinq objectifs spécifiques ont été établis. Tout d'abord, expliquer la nécessité de concilier transitions numérique et écologique pour la société québécoise dans les prochaines décennies. Ensuite, synthétiser les principaux enjeux pour la société québécoise en lien avec les deux transitions. Puis extraire les principales variables structurantes ayant un impact sur les trajectoires d'évolution du Québec afin de concevoir les scénarios de futurs possibles grâce aux méthodes perspectives. Finalement, formuler un ensemble de recommandations pour anticiper et gérer au mieux les principaux défis identifiés.

Les sources utilisées à travers cet essai ont été évaluées afin d'en assurer la qualité, la validité et la diversité. Les critères de sélection pour l'analyse étaient la crédibilité, la date de parution, l'origine de la source de diffusion et la fréquence de citation. Conformément à ces critères, une revue des actualités scientifiques et grises a été réalisée en amont afin d'identifier les pôles d'informations majeurs qui traitent des sujets

connexes à la transition numérique et la transition écologique. Les sources étant issues de publications à comité de lecture ainsi que les documents provenant de pôles reconnus par une diversité d'acteurs étaient prioritaires. De la même manière, les sources les plus récentes ont été privilégiées. Également, chaque enjeu identifié a fait l'objet d'une contrevérification à travers d'autres sources traitant du même sujet. Enfin, cette veille a également été complétée et vérifiée par la consultation de près de dix experts reconnus pour leurs travaux dans des sujets connexes, qui ont pu confirmer les éléments identifiés et guider l'ajout de sources supplémentaires.

Cet essai est divisé en cinq chapitres qui lui permettent de répondre aux objectifs spécifiques et ultimement l'objectif principal. Le premier chapitre présente le projet plus global dans lequel s'inscrit cet essai, soit l'initiative Chemins de transition portée par l'Université de Montréal. Il est complété par une présentation des transitions écologique et numérique comme deux forces interconnectées avec lesquelles le Québec doit envisager l'avenir. Par la suite, le deuxième chapitre explique en détail la méthodologie suivie pour arriver à l'élaboration de quatre scénarios prospectifs pour l'évolution du Québec à l'horizon 2040, depuis le processus de veille jusqu'aux méthodes d'analyse prospective. Le troisième chapitre offre une synthèse des principaux enjeux présents et futurs liés aux deux transitions à travers trois axes multidisciplinaires. Une fois les éléments identifiés, ils sont utilisés dans le cadre d'une analyse prospective illustrée dans le quatrième chapitre par le biais d'un tableau morphologique qui donne naissance à l'élaboration de quatre scénarios prospectifs pour le Québec à l'horizon 2040. Finalement, le cinquième chapitre propose des recommandations qui intègrent les éléments majeurs repérés dans cet essai qui permettent de faire avancer la transition au Québec.

## **1. MISE EN CONTEXTE**

Ce premier chapitre offre un préambule nécessaire pour comprendre le contexte dans lequel s'inscrit cet essai. Tout d'abord, le projet Chemins de transition (CdT) y est brièvement présenté. Ensuite, il y est détaillé ce que représente la transition numérique et la manière dont elle s'inscrit comme force de transformation majeure de la société. Il s'en suit une présentation de l'idée de transition écologique comme réponse nécessaire à l'impasse de nos modes de vie, appuyée par une démonstration de leur non-soutenabilité. Enfin, les deux transitions sont mises en interaction comme deux forces déterminantes de notre avenir, en défendant la nécessité de les concilier.

### **1.1 Chemins de transition**

Cet essai s'inscrit au sein d'un projet plus global s'intitulant Chemins de transition, porté par l'Université de Montréal et Espace pour la vie. L'initiative CdT vise à engager la communauté universitaire, au côté des autres forces vives de la société, dans le nécessaire débat sur la transition au Québec. Au cours des prochaines années, CdT mobilisera les savoirs de plusieurs disciplines, et de multiples acteurs, afin d'identifier collectivement les chemins qui ont le potentiel de mener la société québécoise dans une trajectoire plus souhaitable. Ce travail sera structuré autour de cinq grands défis, dont les deux premiers sont :

- Comment nourrir en santé toujours plus d'humains sans épuiser les ressources terrestres, dans un contexte de changements climatiques? et;
- Comment faire converger transition numérique et transition écologique?

Le présent travail s'appuie sur un ensemble de données qui ont été récoltées et analysées par l'auteur en préparation du second grand défi de Cdt, et a pu ainsi bénéficier de l'appui d'experts mobilisés par le projet.

### **1.2 La transition numérique**

À en croire la littérature d'anticipation, l'avenir sera numérique ou ne sera pas. Dans son livre à succès « Homo deus, une brève histoire de l'avenir », l'auteur israélien Yuval Noah Harari défendait en 2017 que le 21<sup>e</sup> siècle connaîtrait une transition majeure, en passant d'une vision « anthropocentrée » (centrée sur l'homme) à une vision « datacentrée » (centrée sur les données) (Harari, 2017). Selon l'auteur, les grandes priorités historiques de notre espèce; la famine, les infections et les guerres ne sont plus perçues comme des fatalités aux racines inconnues, divines ou inexplicables. À la place, la science a considérablement aidé à théoriser les mécanismes de cause à effet et il est désormais plus commun pour les décideurs de chercher à développer des solutions plutôt que de se résigner aux prières. Alors, s'interroge-t-il, quels sont les nouveaux défis auxquels l'humanité doit faire face au 21<sup>e</sup> siècle? Parmi ses réflexions, Harari théorise que dans notre monde ultra-connecté, composé de flux incessants de données, une nouvelle religion est en train

d'émerger : le « dataïsme » (Harari, 2017). Ce courant voit en l'avènement de l'intelligence artificielle et du *Big Data* les signes palpables d'une transition vers un nouveau paradigme dans lequel les humains pourraient céder leur autorité aux algorithmes, seuls mécanismes capables de traiter les flux immenses de données en information et en connaissance (Harari, 2017).

Dans la vie de tous les jours, il est aisé de comprendre d'où l'auteur puise son inspiration. La collecte d'informations personnelles est réalisée en permanence à travers les téléphones cellulaires, les réseaux sociaux et les informations de paiement (Antunes et Maia, 2018). Le numérique s'est infiltré dans toutes les facettes de la vie, modifiant ainsi les habitudes, les façons de communiquer, d'interagir, ou de penser (Antunes et Maia, 2018). Et ces tendances ne semblent pas être prêtes à fléchir : du réfrigérateur connecté qui propose des recettes en fonction de ce qu'il contient à la montre qui mesure le taux de diabète, la transition numérique ne cesse de s'accélérer à travers le monde. Rythmé par les inventions successives, le numérique s'est implanté de manière globalisée, si bien que la transition numérique est considérée par plusieurs comme la force principale de changement de nos sociétés (Fondation Internet Nouvelle Génération [Fing], 2016).

### **1.2.1 Définition et catégorisation de la transition numérique**

Selon la définition qui lui est associée, le numérique renvoie à différents courants et périodes de l'histoire. L'adjectif « numérique » vient de « numerus » en latin, qui signifie « relevant des nombres ». Le terme renvoie donc à un processus de numérisation, consistant à reproduire des informations en caractères chiffrés. Selon cette terminologie, des applications numériques peuvent donc être retracées jusqu'au 19<sup>e</sup> siècle où les principes de l'algèbre binaire des opérateurs booléens étaient inventés pour la première fois (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie [ADEME], 2017).

Cependant, le terme « numérique » fait plus communément référence à l'accélération des technologies de l'information et de la communication (TIC), notamment portées par le déploiement d'Internet depuis la fin du 20<sup>e</sup> siècle (The Shift Project, 2019). C'est en s'appuyant sur cette seconde terminologie que se développe cet essai. Par extension, la « transition numérique » fait ainsi référence à l'essor des TIC dans tous les paliers de l'organisation sociale.

### **1.2.2 Le numérique, une force de changement**

Pour certains, l'intégration des technologies numériques s'est faite de manière progressive, s'inscrivant dans une perspective d'évolution continue. Celles-ci sont associées à des réductions de coût, à des améliorations des procédés de production pour les entreprises et à une augmentation de l'accès à l'information pour les particuliers (France Stratégie, 2016). Pour d'autres, le numérique est un réel renouveau, une rupture avec des pratiques dépassées qui ne peuvent plus poursuivre dans le Nouveau

Monde. Quoi qu'il en soit, le numérique est perçu par tous comme un vecteur de changement (France Stratégie, 2016).

## **L'industrie 4.0**

Depuis la fin du 19<sup>e</sup> siècle, l'augmentation rapide des capacités de calcul en suivant la loi de Moore (doublement de la capacité des composants électroniques tous les 18 mois) a permis un développement scientifique sans précédent et la conception de nombreuses technologies au potentiel disruptif pour tout le secteur industriel (ADEME, 2017b). Cette fulgurante ascension a plus récemment permis aux *machine learning*, *big data*, *cloud computing*, internet des objets et impression 3D, entre autres, de voir le jour. Parmi ces nouvelles technologies, l'intelligence artificielle (IA) est certainement une de celles qui trouvent le plus d'applications dans l'industrie. L'IA consiste à mobiliser différentes techniques informatiques pour permettre aux machines d'effectuer des tâches que l'homme accomplit traditionnellement en utilisant son intelligence (Jackson, 2019). Ces inventions et leurs applications dans la quasi-intégralité des fonctions de l'entreprise bouleversent le secteur au complet. Ainsi, en plus d'impacter la recherche et le développement, les technologies numériques ont bouleversé les achats, la production le stockage, la logistique, le marketing et les ventes. Les changements entraînés sont tels que de nombreux spécialistes parlent de l'avènement imminent d'une 4<sup>e</sup> révolution industrielle (ADEME, 2017b).

Bien au-delà des simples prouesses techniques, les technologies numériques sont grandement appuyées par les pouvoirs publics, notamment en Europe et en Amérique du Nord, qui misent sur leur déploiement pour redynamiser le tissu industriel (ADEME, 2017b). À travers la planète, on retrouve ainsi de nombreuses initiatives gouvernementales destinées à permettre le déploiement des technologies numériques au service de l'industrie. C'est le cas notamment d'*Industrie 4.0* en Allemagne, d'*Advanced manufacturing* aux États-Unis, et d'*Innovation 25* au Japon (ADEME, 2017b). En France, les « technologies numériques de l'industrie du futur » sont perçues comme une priorité politique (France Stratégie, 2016).

## **Les villes intelligentes**

Le secteur industriel n'est pas le seul à être emporté par la vague numérique, c'est la société au complet qui surfe sur la tendance. En matière d'aménagement du territoire, on voit apparaître depuis plusieurs années le terme de « ville intelligente » (Rifkin, 2011). Avec pour objectif d'améliorer la qualité de leurs services urbains, de réduire les coûts ou d'innover sur la scène internationale, plusieurs grandes métropoles telles que Toronto, Pittsburgh et Amsterdam misent sur la transition numérique vers une intégration généralisée de capteurs et de traitement d'informations numériques (Courrier International, 2019). En se basant notamment sur l'internet des objets, technologie qui consiste à mettre en communication permanente une multiplicité d'objets connectés pour optimiser l'échange des données, les projets de ville intelligente

bousculent la manière dont est pensée la mobilité (Commission nationale de l'informatique et des libertés [CNIL], 2017). En participant à la compétition pancanadienne du Défi des villes intelligentes proposé par Infrastructure Canada, la Ville de Montréal a remporté 50 millions de dollars pour poursuivre son développement (Ville de Montréal, 2019). Selon sa candidature, la Ville de Montréal souhaite utiliser le prix pour :

« [...] mettre en œuvre des actions et des moyens qui, grâce à l'innovation et aux nouvelles technologies, améliorent la qualité de vie des citoyens dans toutes ses dimensions : efficacité des services, relations humaines riches, environnement sain et stimulant, milieux de vie où chacun se sent bien et inclus, peu importe sa culture, son âge, son genre, et handicaps » (Ville de Montréal, 2019, p. 2).

En d'autres termes, de plus en plus de grandes villes, notamment en Amérique du Nord, comptent sur le numérique pour parvenir à leurs objectifs de développement urbain.

### **Un compagnon personnel**

Enfin, c'est peut-être à l'échelle individuelle que la force de transformation du numérique est la plus évidente. Bien que les utilisateurs ne s'en rendent pas toujours compte, le numérique a bouleversé pratiquement toutes les composantes de la vie personnelle en changeant, notamment, notre rapport au temps et à l'espace. Pour l'expliquer, Xavier Dalloz a théorisé le concept de « mobiquité », issu de la fusion des mots « mobilité » et « ubiquité » (Kebaili, 2020). Ce terme décrit la capacité, historiquement inédite, pour les usagers en situation de mobilité à se connecter à un réseau sans en être empêché par des contraintes de temps, de localisation, ou de terminal (Kebaili, 2020). Le numérique, c'est la culture de l'instantané, de l'abattage de limites : l'information est presque toujours à portée de doigts, peu importe où l'on se trouve (Kebaili, 2020). L'utilisateur doit être en mesure d'obtenir ce qu'il veut rapidement. Le géant américain de commerce en ligne Amazon en a fait sa marque de fabrique : après avoir réussi à offrir la livraison de ses produits en quelques heures dans les grandes villes américaines, l'entreprise a déposé un brevet en 2014 pour commercialiser la vente de produits par anticipation, grâce aux données (Forbes, 2014, 28 janvier). En se basant sur l'historique de navigation, les habitudes de consommations enregistrées et une modélisation algorithmique associée à des études de marché, la plateforme serait en mesure d'anticiper l'achat d'un produit et pourrait ainsi proactivement gérer ses stocks à travers ses entrepôts, afin de rendre les produits concernés disponibles presque immédiatement. Avec 76 millions de foyers américains équipés de l'assistant personnel virtuel Alexa en 2019 (Bohn, 2019), il est fort probable que le consommateur n'ait bientôt plus à faire l'effort de commander un produit avant de le recevoir.

Même si l'accent est souvent mis sur l'innovation technologique, comme nouvel outil pour répondre à un besoin ou une problématique, le caractère réellement transformateur du numérique vient avec ses applications, et les transformations sociales qu'elles provoquent (Future Earth, 2020). Pour prendre un



exemple illustratif récent, lors du lancement de Facebook en 2004, il était difficile d’imaginer à quel point la plateforme deviendrait un acteur d’influence majeur dans la sphère publique, allant jusqu’à jouer un rôle décisif dans les élections présidentielles des États-Unis seulement 12 ans plus tard (Wendling, 2018). Aujourd’hui encore, Facebook fait régulièrement l’objet de débats tant il affecte la vie sociale de ses utilisateurs, récolte de larges volumes de données personnelles, et fait figure de plaque tournante du commerce en ligne (Antunes et Maia, 2018).

### **1.2.3 Un univers en expansion**

La transition numérique continue son expansion à travers le monde, pour couvrir de plus en plus de territoires. Et les projections du nombre d’utilisateurs et de périphériques connectés dans un avenir proche ne laissent pas à penser que les tendances vont s’inverser. D’ici 2025, l’association des opérateurs de téléphone *Groupe Special Mobile Association* (GSMA) anticipe une augmentation de 3,6 milliards d’usagers de la 4G et 1,2 milliards d’usagers de la 5G dans le monde (GSMA, 2017). En Inde, par exemple, le taux d’adoption de téléphones intelligents devrait passer de 45 % à 74 % entre 2017 et 2025. Sur la même période, le nombre d’objets connectés dans le monde devrait passer de 9 à 55 milliards (Newman, 2020, 7 janvier).

Au Québec, le déploiement du numérique suit la même tendance : le Centre facilitant la recherche et l’innovation dans les organisations (CEFRIQ) estime, par exemple, que la proportion des adultes québécois qui possèdent un téléphone intelligent est passée de 58 % en 2016 à 77 % en 2019 (CEFRIQ, 2019b). Et cette tendance est observée dans tous les groupes d’âge : entre 2018 et 2019 l’adoption du téléphone intelligent est passée de 90 % à 94 % pour les Québécois âgés de 18 à 34 ans, de 82 % à 87 % chez les adultes âgés de 35 à 54 ans et de 50 % à 57 % chez les personnes de 55 ans et plus (CEFRIQ, 2019b). À l’avenir, il est très probable que les tendances se maintiennent : à travers le programme « Québec haut débit », le gouvernement provincial a mobilisé un budget de 400 millions de dollars qui vise à offrir un accès Internet haut débit à 100 % des Québécois par la réalisation de projets de déploiement d’infrastructures de télécommunication, notamment en milieu rural, entre 2019 et 2026 (MEIE, 2019).

### **1.2.4 Une transition en quête de sens**

La transition numérique semble donc incontournable pour l’ensemble des pays et des entreprises, qui y voient le développement naturel de l’innovation technologique. Les technologies numériques et leurs applications bouleversent toutes les dimensions de la société tant elles concernent les villes, les entreprises et les particuliers. Elles permettent d’interconnecter personnes, données et programmes pour étendre à l’infini le nombre de leurs combinaisons possibles. De fait, le déploiement du numérique poursuit une ascension fulgurante.

Cependant, le numérique est une force mobilisatrice qui avance sans réelle perspective: les acteurs au sein des transformations numériques ne partagent pas les mêmes objectifs et la diversité des secteurs affectés rend difficile la mise en place d'un objectif commun.

### **1.3 La transition écologique**

Accélération des changements climatiques, effondrement de la biodiversité, épuisement des ressources naturelles : l'ampleur de la catastrophe environnementale qui se profile nécessite d'anticiper collectivement une transition écologique au cours des prochaines décennies. L'ensemble des conditions qui permettent la vie sur Terre est en train de s'effondrer, sous l'effet de l'insoutenabilité du modèle socioéconomique dominant. En conséquence, nos sociétés doivent mettre en œuvre des transformations profondes en l'espace d'une génération pour évoluer vers un nouvel équilibre qui ne remette pas en cause leurs conditions d'existence.

#### **1.3.1 Définition et catégorisation de la transition écologique**

Le terme « transition écologique » fait référence à cette période de transformation multisectorielle, qui mènera d'un modèle de production et de consommation non soutenable vers un modèle socioéconomique ayant un impact soutenable à long terme (Stamm, 2015). À l'échelle de la société, la transition est déjà enclenchée, mais elle ne parvient pas pour le moment à se montrer à la hauteur des changements nécessaires pour ne pas compromettre la vie sur Terre (CdT, sous presse). En ce sens, tout l'enjeu de la transition écologique n'est pas de savoir si celle-ci est en marche, mais plutôt si elle sera entièrement subie ou au moins partiellement choisie.

#### **1.3.2 La transition écologique, une réponse nécessaire à la dégradation environnementale**

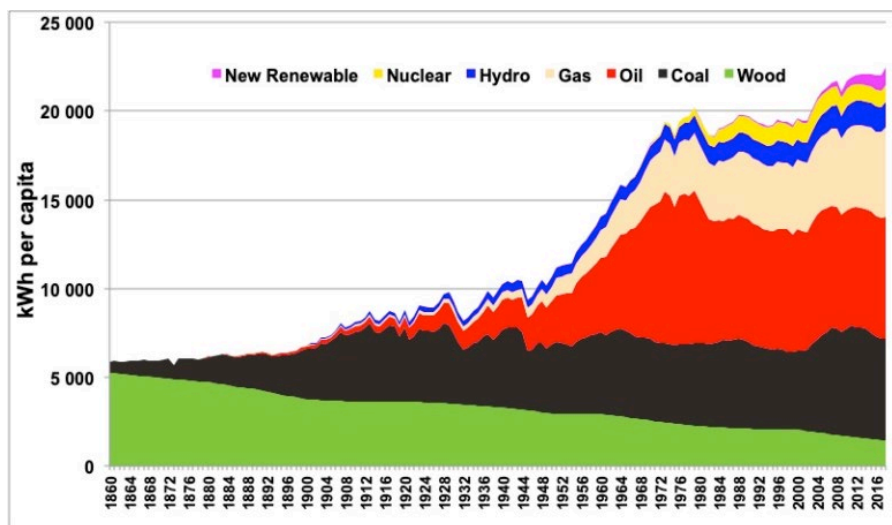
Tantôt qualifié de « crise », tantôt de « catastrophe » écologique, il est difficile de trouver un qualificatif adéquat pour décrire l'état de la planète et de son avenir. Une chose est sûre; la situation est préoccupante. Les enjeux écologiques auxquels nous faisons face sont doubles : les premiers concernent les ressources indispensables au fonctionnement de notre système économique, et les tensions qu'elles engendrent, les seconds découlent de la saturation des capacités de charge de la biosphère qui nous fait vivre. Tous font apparaître des questions de finitude et de nature variable (Bourg, 2013).

#### **La question des ressources**

Selon l'organisme *Global Footprint Network*, il faudrait actuellement l'équivalent de 1,7 planète pour satisfaire notre consommation de ressources à l'échelle mondiale (Global Footprint Network, 2019). Cette tendance à la surconsommation porte atteinte aux perspectives d'avenir de l'humanité. Trois types de

ressources seront abordés ici de manière non exhaustive, mais représentative de la dégradation des écosystèmes terrestres : les sources d'énergie fossile, les métaux, et les ressources hydriques.

La découverte soudaine des énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz) à la fin du 19<sup>e</sup> siècle a profondément bouleversé le mode de vie des hommes. Auparavant, la grande majorité de la population travaillait dans l'agriculture. Or, l'apparition des énergies fossiles abondantes, et par la suite des machines, a conduit à la démultiplication des surfaces cultivées et des rendements. Cette augmentation importante de la productivité a permis aux hommes de diversifier leurs activités, notamment économiques, car ils n'avaient plus besoin de travailler en permanence pour satisfaire les besoins primaires de la société (Jancovici, 2019, 30 juillet). C'est ainsi que sont nés l'industrie et le secteur du bâtiment, puis celui des services, les congés, les vacances et les loisirs. Dans l'ensemble, c'est l'abondance de ces nouvelles sources d'énergie qui a permis de multiplier la population par dix et la consommation d'énergie par personne par quatre en deux siècles, comme cela est illustré dans la figure 1.1. On peut ainsi observer que la démultiplication de la consommation d'énergie par personne depuis le 19<sup>e</sup> siècle est essentiellement attribuable aux énergies fossiles.



**Figure 1.1 Évolution de la consommation d'énergie par personne, en moyenne mondiale, depuis 1860**  
(tiré de : Jancovici, 2019, 30 juillet)

En effet, l'utilisation de bois (en vert) pour produire de l'énergie a progressivement diminué et la consommation d'énergies fossiles (charbon en noir, pétrole en rouge, gaz naturel en beige) a constamment augmenté. En 2016, les énergies fossiles représentaient 81 % du mix énergétique primaire mondial (Jancovici, 2019, 30 juillet). Autrement dit, notre système économique actuel repose quasi intégralement sur les énergies fossiles. D'un point de vue matériel, la dépendance de notre système aux énergies fossiles soulève un problème important d'approvisionnement. En effet, il a fallu des centaines de millions d'années

à la Terre pour produire les énergies fossiles et après presque deux siècles de consommation accrue, les réserves, notamment pétrolières, se tarissent (Auzanneau, 2016). À ce sujet, l'Agence internationale de l'énergie (AIE) a décrété que le pic mondial du pétrole conventionnel, à savoir le maximum pouvant être extrait, a été atteint entre les années 2006 et 2008 (Auzanneau, 2016). Jusqu'à présent, c'est l'utilisation de pétrole non conventionnel (sables bitumineux du Canada, huiles lourdes du Venezuela, huiles de schiste aux États-Unis) qui a permis de pallier la diminution de l'offre. Or, ces sources d'approvisionnement connaîtront elles aussi, tôt ou tard, leur pic (Auzanneau, 2016). Compte tenu de la place que prennent les énergies fossiles dans le fonctionnement du système économique dominant, une diminution soudaine de leur disponibilité rimerait avec de sévères contractions économiques (Jancovici, 2019, 30 juillet).

La situation est tout aussi préoccupante sur le plan des métaux. L'industrialisation des sociétés s'est développée en partie grâce à l'extraction et l'utilisation de métaux tels que le fer, l'or, l'argent, mais aussi le cuivre, le cobalt, l'aluminium ou encore, plus récemment, le lithium, le palladium ou le platine (Bihieux, 2019). Ces ressources géologiques, bien que naturelles, ne sont pas réparties uniformément à la surface de la croûte terrestre. Les gisements, suffisamment concentrés en métaux pour être exploités, sont en nombre limité et décroissant (ADEME, 2017a). Cela s'explique, car l'exploitation des métaux a commencé par les minerais les plus concentrés. Une fois ces gisements exploités, il faut alors continuer à assurer un niveau de production en croissance constante à partir de réserves ayant une teneur minérale de plus en plus faible. Dans leur livre « Quel futur pour les métaux », Philippe Bihieux et Benoît de Guillebon rapportent que la concentration moyenne des minerais de cuivre exploités était passée de 1,8 % dans les années 1930 à 0,8 % en 2010. À un tel ratio, il faut exploiter 125 tonnes de minerai pour obtenir une tonne de métal. Et ces tendances à la baisse sont les mêmes pour la plupart des métaux, qui pourront connaître des pénuries importantes dans les prochaines décennies selon la croissance de leur taux d'exploitation (Bihieux et Guillebon, 2010). On observe alors une interaction entre la production énergétique et l'exploitation des ressources, qui crée une boucle de rétroaction d'épuisement : d'un côté, la diminution de la teneur en métal des minerais signifie qu'il faut de plus en plus d'énergie pour exploiter des métaux de plus en plus difficiles à extraire. D'un autre côté, il faut aussi toujours plus de métaux pour produire de l'énergie, car il faut multiplier les infrastructures physiques nécessaires à l'exploitation (Bihieux, 2019). En matière d'exploration minière, « les investissements sont passés de 2 à 10 milliards de dollars entre 2002 et 2007! Cependant, ces efforts n'ont quasiment pas apporté de gisements nouveaux » (Bihieux et Guillebon, 2010). Ainsi, s'il est difficile de donner une estimation des pénuries ponctuelles ou prolongées de métaux à cause de l'augmentation potentielle des réserves connues, il est très probable que les quantités de métaux nécessaires à la production ne suivent plus longtemps la croissance de la demande à un rythme de plusieurs points de pourcentage par an (ADEME, 2017a).

Enfin, les ressources en eau douce soulèvent elles aussi des préoccupations importantes. D'après l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (ONUAA) 45 pays à travers le monde, incluant l'Afrique du Sud, Chypre et le Maroc, sont en situation de pénurie (moins de 1000 mètres cubes par habitant et par an), dont 29 pays comme l'Algérie, Israël ou le Qatar en situation de pénurie extrême (moins de 500 mètres cubes par habitant par an) (ONUAA, 2019). En 2018, l'ONUAA s'alarmait de l'aspect critique de la situation : les réserves souterraines, dont dépend un tiers des habitants de la planète sont menacées d'épuisement et 20 % d'entre elles sont surexploitées (ONUAA, 2019). Or, de manière générale, les ressources en eau douce sont principalement utilisées pour l'agriculture (70 % de l'eau prélevée) (ONUAA, 2019). Cette situation est particulièrement préoccupante car les modélisations climatiques, notamment du GIEC, prévoient un accroissement des régions connaissant un stress hydrique récurrent dans les prochaines décennies, laissant augurer des difficultés concernant, en premier lieu, la production alimentaire mondiale (GIEC, 2018).

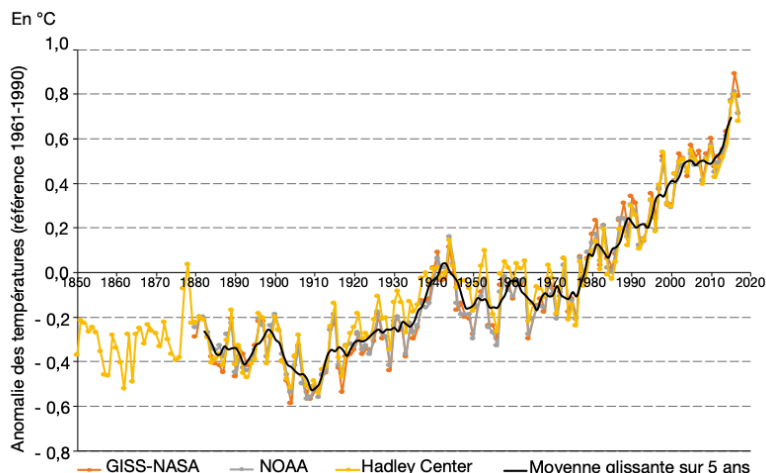
### **Les capacités de charge de la biosphère**

De manière complémentaire aux enjeux évoqués, s'ajoute un second type de difficultés liées aux capacités de charge de la planète. Formulé autrement, il s'agit des grands mécanismes régulateurs de la biosphère qui déterminent les conditions naturelles d'existence du vivant. En 2009, une équipe internationale menée par Johan Rockström proposait une catégorisation de ces conditions en neuf limites que l'humanité ne doit pas dépasser afin de pouvoir vivre dans un écosystème stable (Rockström et al., 2009). Six ans après la publication de leur rapport dans la revue *Nature*, l'équipe de scientifiques estimait que trois de ces limites (l'érosion de la biodiversité, le cycle de l'azote et le cycle du phosphore) avaient été déjà franchies, et que l'une d'entre elles (le changement climatique) approchait sa limite (Steffen et al., 2015). Les effets de ces dépassements se font déjà sentir dans certaines parties du globe et continueront à s'intensifier, en raison de l'inertie climatique. En 2016, la climatologue Heidi Cullen résumait celle-ci en rappelant que :

« même si nous devenions subitement sobres en carbone, l'inertie du système climatique fait en sorte que nous avons déjà enclenché des effets que nous ne subissons pas encore » (Cullen, 2016, 22 février).

### **Le réchauffement climatique**

Le premier grand déséquilibre de la capacité de charge de la planète est d'ordre climatique. Les conclusions de la communauté scientifique font consensus : la planète se réchauffe.

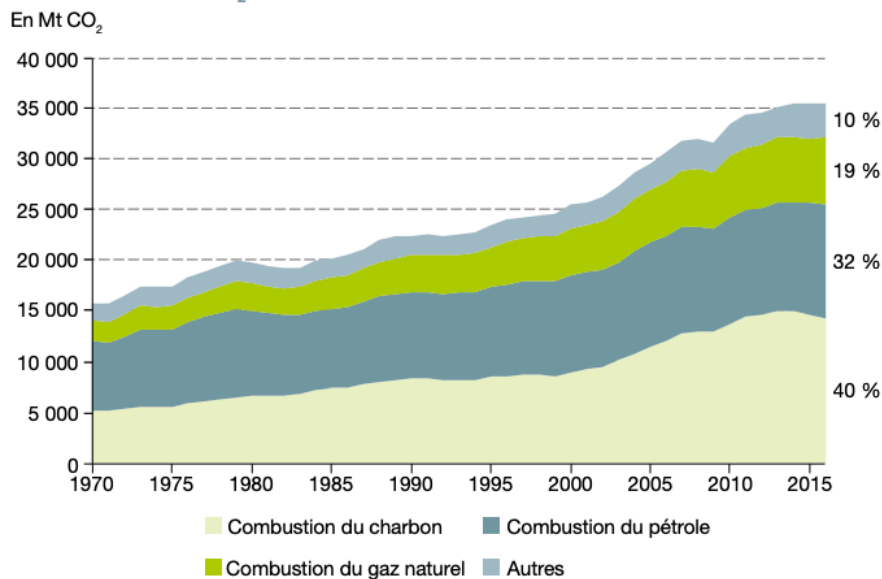


**Figure 1.2 Évolution de la température moyenne annuelle mondiale de 1850 à 2017** (tiré de : Ministère de la Transition écologique et solidaire [MTES], 2019, p. 6)

La figure 1.2 montre les écarts de la température moyenne mondiale enregistrés chaque année avec pour référence la période 1961-1990. Jusqu'en 1940, on peut observer que l'écart était fortement négatif, puis majoritairement négatif jusqu'aux alentours de 1980, et ensuite presque systématiquement positif depuis le début des années 1980 pour atteindre 0,9 °C en 2018. Cette tendance est confirmée par les données absolues : les cinq dernières années (2019, 2018, 2017, 2016, 2015) constituent les cinq années les plus chaudes enregistrées jusqu'à présent (MTES, 2019).

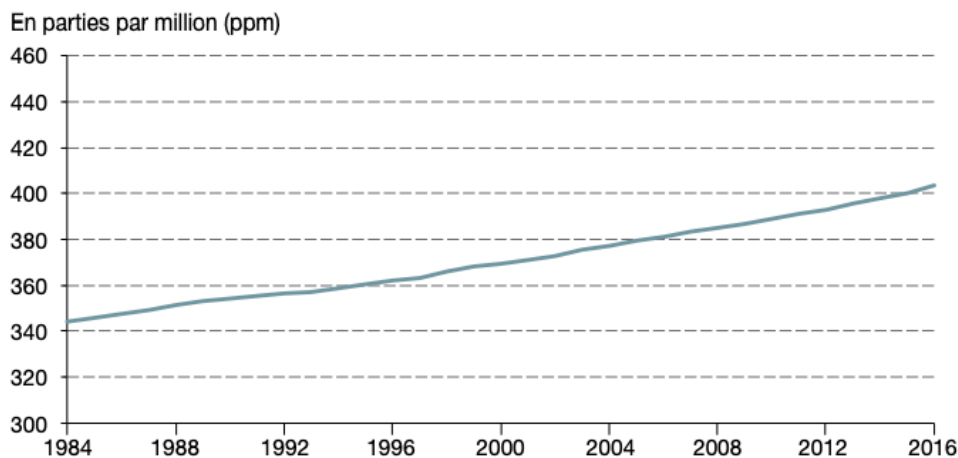
Loin d'être anecdotique, ce réchauffement général est le résultat de la suraccumulation de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Formés essentiellement de vapeur d'eau, de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), de méthane ( $\text{CH}_4$ ), de protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ) et d'ozone ( $\text{O}_3$ ), ces composants gazeux absorbent le rayonnement infrarouge et renvoient une partie de l'énergie contenue vers le sol, retenant ainsi la chaleur près de la surface de la Terre et provoquant l'« effet de serre » (Olivier, 2015). Processus naturel et essentiel pour développer la vie sur Terre, les concentrations atmosphériques de GES se sont toutefois mises à augmenter depuis la révolution industrielle. L'effet de serre s'est alors amplifié en réaction à l'importante émission de GES additionnels dans l'atmosphère causée par les activités anthropiques. Les émissions de GES sont principalement issues de l'utilisation massive de combustibles fossiles, de la déforestation, de certains procédés industriels ainsi que de l'enfouissement des déchets (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques [MELCC], s. d.).

En premier rang, il est estimé que 65 % des émissions de GES totales, et 85 % des émissions de  $\text{CO}_2$  dans le monde, sont liées à la combustion d'énergie fossile et aux procédés industriels (MTES, 2019). La figure 1.3 montre que les émissions de  $\text{CO}_2$  sont générées par la combustion du charbon à hauteur de 40 %, du pétrole à 32 % et du gaz naturel à 19 %.



**Figure 1.3 Répartition des émissions de CO<sub>2</sub> par combustible** (tiré de: MTES, 2019, p. 24)

La répartition des émissions de CO<sub>2</sub> est à mettre en lien avec le mix énergétique primaire mondial présenté dans la section 1.2.1. Malgré les engagements internationaux de réduction de GES, celui-ci est encore dominé par les énergies fossiles. La prépondérance des énergies fossiles dans le mix primaire mondial et les émissions associées entraînent une hausse de la concentration de l'atmosphère en GES. Comme cela est illustré sur la figure 1.4, celles-ci n'ont fait qu'augmenter depuis la fin du 20<sup>e</sup> siècle



**Figure 1.4 Concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique** (tiré de: Organisation météorologique mondiale, 2018)

Selon l'Organisation météorologique mondiale (OMM), en 2018 la concentration de GES dans l'atmosphère a atteint de nouveaux records (407,8 parties par million), représentant ainsi une hausse de 47 % par rapport au niveau préindustriel de 1750. Et cette tendance s'accélère; depuis 1990 la force

radiative des GES, soit leur impact sur le réchauffement climatique, a augmenté quant à lui de 43 % (OMM, 2019). La vitesse de réchauffement planétaire reste une moyenne qui cache une diversité de trajectoires simultanées : le Canada se réchauffe par exemple deux fois plus rapidement que la moyenne mondiale (Environnement Canada, 2019). Au rythme actuel, le climat pourrait gagner jusqu'à 5 ou 6°C d'ici la fin du siècle (GIEC, 2018). Au-delà du réchauffement de la température moyenne de la Terre, l'évolution du climat modifie également la fréquence, l'intensité, l'étendue, la durée et le moment d'apparition des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes. À l'avenir, elle pourrait porter ces phénomènes (cyclones, tempêtes, canicules, événements pluvieux intenses) à des niveaux sans précédent.

Le constat des scientifiques est sans appel : il faut réduire les émissions de 45 % avant 2030 et atteindre la carboneutralité avant 2050 pour éviter, autant qu'il se peut, un réchauffement planétaire qui pourrait s'avérer incontrôlable (GIEC, 2018).

### **L'effondrement de la biodiversité**

Moins relayé médiatiquement, mais tout aussi dramatique, on observe depuis quelques décennies un effondrement brutal de la biodiversité. En effet, la Terre a vu ses populations de vertébrés sauvages décliner de 60 % entre 1970 et 2014 (World Wildlife Fund [WWF], 2018) et un million d'espèces animales et végétales sont actuellement menacées d'extinction, soit une espèce sur huit (IPBES, 2019). Le portrait des insectes n'est guère plus réconfortant : depuis 1990, 80 % des insectes d'Europe ont disparu et 40 % des espèces d'insectes mondiales sont en déclin (Hallmann et al., 2017). Leur taux d'extinction est huit fois plus rapide que celui des mammifères, des oiseaux et des reptiles (Sánchez-Bayo et Wyckhuis, 2019). Enfin, la biodiversité canadienne n'est pas non plus en reste, ayant perdu 43 % des populations de mammifères, 34 % des populations de reptiles et d'amphibiens, 20 % des populations de poissons et 44 % des oiseaux entre 1970 et 2014 (Commissaire à l'environnement et au développement durable au Parlement du Canada, 2018). Cet « anéantissement biologique » est le fruit de causes directes (transformation des habitats, surexploitation des ressources, imprégnation par les substances toxiques, espèces invasives) et de déterminants globaux (démographie des sociétés humaines, surconsommation) tous liés aux activités humaines (Ceballos, Ehrlich et Dirzo, 2017).

#### **1.3.3 Une transition à anticiper**

Confronté à la finitude des ressources dont il dépend et aux limites de l'écosystème qui l'accueille, ce monde n'a d'autre issue que de changer. Or, si la transition écologique parvient à décrire sa finalité, elle peine encore à définir un chemin pour y arriver. Le développement durable, figure du mouvement environnemental de la fin du 20<sup>e</sup> siècle n'est pas parvenu assez vite à découpler les systèmes de production et de consommations de leurs impacts environnementaux (Parrique et al., 2019). En effet, malgré la mise



en place de mesures internationales avec pour objectif la réduction d'émissions de GES, celles-ci ont augmenté de 2,2 % annuellement entre 2000 et 2010, ce qui est encore supérieur à la période 1970-2000 au cours de laquelle les émissions avaient augmenté en moyenne de 1,3 % par an (GIEC, 2018). La transition écologique suppose des changements en profondeur sur une période très restreinte. Si nous ne voulons pas qu'elle s'impose totalement à nous, il est important de l'anticiper pour tenter de l'orienter autant que possible.

#### **1.4 Le besoin de concilier les deux transitions**

La transition numérique et la transition écologique s'affichent alors comme deux forces majeures de transformation sociétale. Cependant, les avis divergent quant à leur compatibilité à se déployer simultanément. En effet, certains pensent que la transition numérique est la seule voie crédible pour réussir notre transition écologique, grâce à la puissance de transformation des TIC et l'efficacité énergétique qu'elles apportent souvent aux procédés existants. D'autres pensent, à l'inverse, que la transition écologique est incompatible avec les trajectoires de développement numérique en lien avec son empreinte environnementale.

Tout d'abord, de nombreuses applications numériques sont aujourd'hui mobilisées de manière à répondre à des problématiques environnementales diverses. Le développement de l'agriculture de précision, qui intègre des systèmes connectés, permet par exemple de réduire considérablement l'utilisation d'eau dans les cultures à l'aide de systèmes d'irrigation intelligents qui répondent aux besoins de manière localisée (Rolnick et al., 2019). Ces systèmes permettent, par la même occasion, de réduire le risque d'espèces ravageuses qui prospèrent dans des conditions humides, et donc la nécessité d'avoir recours à des pesticides (Rolnick et al., 2019). Par ailleurs, dans le secteur des transports de marchandises, de nombreux systèmes de gestion s'appuient sur l'apprentissage machine pour optimiser la chaîne logistique afin de réduire autant que possible les trajets inutiles et les émissions de GES générées (Rolnick et al., 2019).

Au-delà des applications techniques d'amélioration de processus existants, la principale force de la transition numérique réside dans son caractère mobilisateur, qui lui permet de pénétrer les industries en amont et de changer radicalement les modes de fonctionnements en aval. L'organisme international Future Earth estime que cette force de transformation se résume en quatre volets : un niveau de transparence inédit, une collaboration de masse, des systèmes intelligents, et la réalité mixte (Future Earth, 2020). Premièrement, le déploiement de satellites et de capteurs connectés permet d'augmenter radicalement la précision des connaissances et l'accès à l'information, pouvant être notamment utilisés pour surveiller en temps réel l'état de la biodiversité, la diversité des espèces sur un territoire donné, ou encore la capacité de stockage de carbone d'une forêt étudiée (Future Earth, 2020). Deuxièmement, à travers la démocratisation des outils de télécommunication, le numérique a facilité l'émergence de points de contact décentralisés

pour rendre la distance entre les personnes obsolète et permettre des niveaux de communication et de collaboration internationales impensables jusqu'à lors (Future Earth, 2020). Troisièmement, les systèmes intelligents, qui relient des objets électrifiés au réseau de communication Internet, couplés à l'apprentissage machine permettent d'analyser de plus en plus de données et de prendre des décisions plus informées pour résoudre des problèmes complexes aux variables multiples. Les systèmes intelligents permettent notamment de réaliser d'importants gains d'efficacité énergétique par l'optimisation des procédures dans une multitude de secteurs (Future Earth, 2020). Enfin, la dernière force de transformation du numérique est la réalité mixte. En combinant la réalité perçue par les individus et la réalité virtuelle, le numérique a le pouvoir de créer une expérience sensorielle d'immersion pour les utilisateurs, et de créer une connexion émotionnelle qui a plus de chance d'aboutir en un changement comportemental que les méthodes traditionnelles de transmission d'informations (Future Earth, 2020). En somme, la transition numérique abrite une grande force transformationnelle et représente pour certains un allié de la transition écologique.

Pour d'autres, la transition numérique renforce les dynamiques d'insoutenabilité du modèle dominant. Pour eux, la transition numérique affiche une image trompeuse de dématérialisation des activités auprès de la population et des pouvoirs publics (The Shift Project, 2019). En effet, l'industrie elle-même n'est pas immatérielle : pour fonctionner, elle compte sur des terminaux personnels (téléphones, tablettes, ordinateurs, imprimantes), des infrastructures pour assurer le fonctionnement du réseau d'accès et de transmission (câbles, antennes-relais, routeurs, serveurs, bornes wifi) et des centres de données pour le stockage des contenus (Bihieux, 2014). Cette écorce du numérique, opérationnelle en tout temps, génère des impacts environnementaux bien réels, et très conséquents. Le numérique génère également une importante consommation énergétique en croissance perpétuelle. En 2019, la consommation électrique du secteur était de l'ordre de 2000 à 2500 térawattheures, soit à peu près 10 % de l'électricité mondiale, se répartissant en 60 % pour les terminaux utilisateurs, 20 % pour les réseaux et 20 % pour les centres de données (Bihieux, 2020). Avec 60 % de l'électricité mondiale produite à partir du charbon et du gaz naturel, les émissions de CO<sub>2</sub> imputées au secteur numérique dépassent désormais le milliard de tonnes, ce qui en fait un émetteur plus important que l'ensemble du trafic aérien (The Shift Project, 2019). Cela représente aujourd'hui 4 % des gaz à effet de serre dans le monde et la part pourrait doubler d'ici 2025 pour atteindre 8 %, soit l'équivalent des émissions liées aux voitures actuellement (The Shift Project, 2019).

À cela s'ajoute l'impact environnemental de la fabrication des équipements informatiques. Afin de produire un téléphone intelligent, il faut notamment extraire des dizaines de métaux différents, pour la plupart précieux ou rares : or dans les microprocesseurs, lithium et cobalt dans les batteries, étain pour les soudures électroniques, indium dans les écrans tactiles (Bihieux, 2020). En ce qui concerne les émissions de CO<sub>2</sub>, 90 % des impacts d'un téléphone intelligent ont lieu lors de la phase de production (ADEME, 2017b). Cela

s'explique à la fois par les procédés énergivores de fabrication, et par la durée d'utilisation très courte des périphériques (environ 2 ans) à cause de leur obsolescence (The Shift Project, 2018). De plus, une fois les périphériques inutilisables, ils deviennent des déchets dangereux, difficiles à traiter (Bihouix, 2020). Afin de récupérer les métaux de valeur, les circuits électroniques sont brûlés à l'air libre et nettoyés aux acides, générant de la pollution organique irréversible dans les sols, les rivières et nappes phréatiques (Bihouix, 2020). En incluant l'énergie de fabrication et d'utilisation des équipements, les experts du Shift Project estiment que l'empreinte énergétique du numérique augmente actuellement de 9 % par an, et pourrait représenter une consommation de plus de 25 % de l'électricité mondiale en 2025 (The Shift Project, 2018).

Il est tentant d'opposer la transition numérique et la transition écologique, et c'est d'ailleurs un angle récurrent dans la littérature (Bonnet, Landivar, Monnin et Allard, 2019; The Shift Project, 2018). Beaucoup de mouvements au sein de l'écologie se construisent en partie sur une critique de la technologie, de l'idéologie du progrès et de la croissance qu'elle promeut. Ceux-ci se méfient des promesses d'efficacité avancées par les défenseurs des technologies et pointent du doigt les impacts environnementaux du numérique lui-même (Parrique et al., 2019; The Shift Project, 2019). Au-delà de l'aspect comptable, c'est plus largement la symbolique du numérique qui est également mise en avant : jusqu'à présent, c'est l'outil de l'accélération des rythmes de consommation, et des flux de matière, d'énergie, et déchets (Izoard, 2020). De leur côté, les principaux acteurs du numérique voient en la dégradation écologique la somme de problèmes distincts pour lesquels il faut continuer de chercher et de développer des solutions. Cet angle d'analyse technique forge un prisme qui laisse apparaître les opportunités dans un premier temps, quitte à analyser les risques dans un second (Fing, 2018). Influencés par l'apparente immatérialité et l'efficacité de leur domaine, beaucoup d'acteurs du numérique viennent à se considérer comme écologistes par nature, sans analyse critique des bienfaits réellement générés (Fing, 2018).

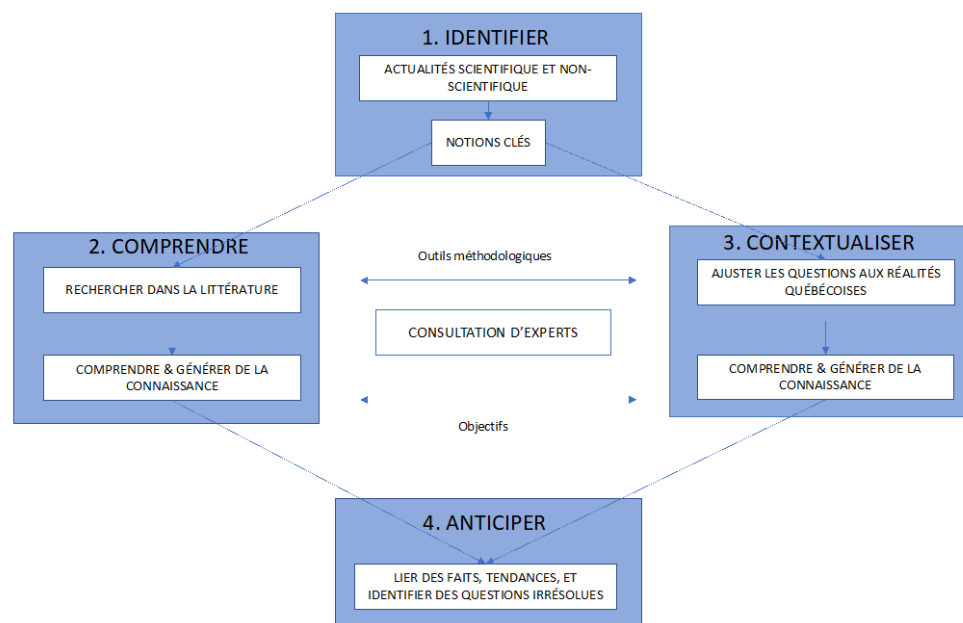
Toutefois, malgré des différences idéologiques profondes entre les deux visions, il semblerait qu'une voie du milieu soit nécessaire à développer. L'engouement pour les technologies numériques de la plupart des acteurs mondiaux et les moyens qu'ils représentent laissent à penser que le numérique continuera d'être une, sinon la, force majeure de transformation de la société dans les prochaines décennies. En parallèle, la transition écologique sera amenée à se manifester de plus en plus au cours des prochaines décennies. Les deux transitions sont déjà en cours et le peu de temps qu'il reste pour effectuer des changements profonds nécessite une mobilisation de tous les moyens disponibles. Cette voie du milieu, qui prône la convergence entre la transition numérique et la transition écologique, se donne pour objectif de tirer profit des avancées des technologies numériques en faveur de la transition écologique tout en anticipant et minimisant les impacts environnementaux qu'elles pourraient provoquer.

## 2. MÉTHODOLOGIE

Avec pour objectif d'évaluer les différentes trajectoires d'évolution possibles au Québec pour concilier transition numérique et transition écologique à l'horizon 2040, cet essai s'appuie sur une méthodologie en deux temps. En premier temps, une revue ciblée de littérature a été réalisée afin de faire état des connaissances les plus à jour au sujet de la transition numérique, de la transition écologique, et des interactions qui existent entre les deux. Cette veille a été complétée par la consultation d'experts afin de s'assurer de représenter correctement les différentes dynamiques identifiées et de ne pas avoir d'omission significative. Dans un second temps, la méthode de l'analyse morphologique a été suivie afin de concevoir quatre trajectoires contrastées d'évolution pour le Québec à l'horizon 2040.

### 2.1 Le processus de veille

La veille est la première étape de la méthodologie. Elle consiste à identifier et synthétiser l'état du savoir autour des transitions numérique et écologique. La veille est un processus en quatre étapes, tel qu'illustré dans la figure 2.1.



**Figure 2.1 Les quatre étapes du processus de veille** (inspiré de: Chemins de transition, sous presse)

La figure 2.1 permet de souligner deux points importants du processus. D'une part, les différentes étapes de la veille sont successives initialement, mais leur ordre n'est pas définitif. En d'autres termes, cet ordre est important pour la première série, mais il est possible de revenir à une étape antérieure afin de renchérir les résultats de la veille. Cela peut arriver, par exemple, lorsque les experts consultés suggèrent l'étude de

nouveaux documents. D'autre part, grâce à l'appui de l'équipe de Chemins de transition, la consultation d'experts a été possible à différentes étapes du processus.

### **2.1.1 Identifier**

La première étape de la veille consiste à parcourir les actualités scientifiques et grises pour identifier les notions clés qui interpellent la science sur des questions de transitions écologique et numérique. L'objectif de cette étape est de retenir les notions qui pourront être utilisées pour cibler les documents pertinents. Les notions identifiées sont regroupées puis traduites en français et en anglais afin de guider les recherches.

En parallèle de la liste des mots clés à utiliser pour la recherche d'informations, une autre liste a été conçue pour cibler les sources potentielles dans lesquelles appuyer les efforts. Celles-ci ont été réparties selon leur modèle de publication, entre littérature scientifique et littérature grise. La littérature scientifique rassemble l'ensemble des publications issues de revues à comité de lecture (Schopf, 2015). Pour y accéder, il faut traditionnellement passer par une banque de données. La littérature grise regroupe quant à elle tous les documents qui ne sont pas contrôlés par des maisons d'édition, notamment des rapports d'évaluation, des publications gouvernementales, des résumés et actes de conférences, des prépublications, des mémoires et thèses de doctorat, ou encore des résumés statistiques (Schopf, 2015). Au vu de la multiplicité des sources d'informations composant ce type de littérature, seuls les principaux pôles d'information s'intéressant au sujet ont été retenus.

### **2.1.2 Comprendre**

La deuxième étape de la veille vise à comprendre et à générer de la connaissance. Pour ce faire, les documents sélectionnés au cours de la première étape sont lus et analysés. De manière à faire ressortir les informations pertinentes, chaque lecture de document est accompagnée du remplissage d'un questionnaire hébergé sur la plateforme *Google Forms*. Cet outil a été choisi pour ses fonctionnalités, notamment la possibilité de trier les informations dans un tableur.

### **2.1.3 Contextualiser**

Dans un troisième temps, les informations obtenues sont replacées et adaptées dans un contexte québécois. Il s'agit ici d'engager une analyse des informations récoltées en fonction de leur pertinence pour la société québécoise au cours des vingt prochaines années. Cette troisième étape est réalisée de concert avec les experts en transition numérique et transition écologique au Québec, mobilisés par le projet Chemins de transition.

#### **2.1.4 Anticiper**

Enfin, un travail analytique est effectué pour faire apparaître des liens entre les données et faire ressortir des tendances pour l'avenir tout en identifiant des questions non résolues. Cette dernière étape sert à préparer l'information pour qu'elle puisse être utilisée dans le cadre d'une analyse prospective.

### **2.2 La prospective stratégique**

Les différentes organisations sociétales de notre espèce ont toutes, à travers l'histoire, intégré diverses formes d'anticipation (Polère, 2012). L'anticipation et la planification seraient même des facettes inhérentes du fonctionnement des groupements humains (Polère, 2012). Cependant, la base des méthodes d'anticipation a constamment évolué à travers les époques, allant de la consultation divine à la littérature d'anticipation. Héritière de ces siècles d'expérimentation, la prospective est une forme récente d'anticipation, apparue simultanément en Europe et en Amérique du Nord dans les années 1950 (Jouvenel, 2002).

Ce qui permet à la prospective de se distinguer des méthodes d'anticipation antérieures, c'est notamment ses efforts pour s'appuyer sur la rationalité et les protocoles scientifiques (Polère, 2012). En pratique, la prospective a également pu émerger grâce à une professionnalisation de la méthode d'anticipation, accompagnée d'une institutionnalisation de la demande (Wendling, 2018). Celle-ci ne provient non plus de personnalités, mais bien de personnes morales, comme des administrations, des institutions ou des entreprises, qui apportent financement et intérêts aux résultats (Polère, 2012). À l'inverse d'autres formes d'anticipation, la prospective a ainsi réussi à acquérir une légitimité auprès d'organisations collectives, principalement grâce à ses méthodes tournées vers l'action (Polère, 2012).

#### **2.2.1 En pratique**

Heurgon et Vieillard-Baron présentent la prospective comme étant une « démarche de la connaissance pour l'action », « une activité pluridisciplinaire qui s'efforce de voir loin » (2007, p.2). Autrement dit, la prospective sert à éclairer les horizons afin de servir la décision. Elle nécessite de faire un effort structuré d'observation pour déceler les acteurs et dynamiques présents dans un système, afin de penser leur évolution. Elle se situe sur un horizon temporel daté, et doit rendre compte des cheminements entre le point de départ et le point d'arrivée (Polère, 2012). Armatte (2007) fait ressortir cinq principes sur lesquels se base la prospective :

- Il s'agit tout d'abord d'une approche globale et interdisciplinaire qui vise à prendre en compte l'ensemble des aspects du système étudié;
- La démarche adopte une vision à long terme qui permet de surmonter les variations du court terme et de bien saisir les dynamiques profondes du système;

- La prospective donne une prédominance à l'analyse qualitative, en octroyant une place importante à l'interprétation et à l'innovation sociale, dont les répercussions ne sont pas systématiquement quantifiées. Selon l'auteur, l'« expertise doit l'emporter sur le calcul »;
- L'attitude prospective vacille entre art et science, en se basant sur une rationalité du raisonnement tout en valorisant l'imagination et la prise de risque;
- Enfin, la prospective est volontariste, tant elle s'inscrit dans une démarche qui considère l'avenir comme un projet commun qui n'est pas une « fatalité inexorable ».

La prospective n'est pas une affaire de prévision. En effet, son approche pluridisciplinaire, globale et long terme fait de la prospective une démarche qui ne peut prétendre à prédire l'avenir. À l'inverse de la prévision qui s'inscrit dans la continuité, la prospective cherche davantage à intégrer « les phénomènes de discontinuité et de rupture », notamment en intégrant des perspectives d'évolution moins évidentes (de Jouvenel, 2002). Les hypothèses développées doivent cependant garder un lien crédible avec le réel, de sorte qu'elles ne tombent pas dans le domaine de la science-fiction. Pour ce faire, les projections d'avenir s'appuient sur l'exploration de la littérature pertinente et sur la validation d'experts.

### **2.2.2 Les ingrédients de la prospective**

Le vocabulaire de la prospective liste quatre grandes catégories d'éléments auxquels il faut prêter attention lors de la préparation de l'analyse d'un système : les constats, les tendances, les signaux faibles ainsi que les questions irrésolues. Les éléments retenus pour l'analyse sont communément appelés « ingrédients de la prospective » (Chemins de transition, sous presse).

Les constats représentent un ensemble d'informations qui fait état du fonctionnement du système à un instant déterminé. On y retrouve les différents acteurs et les dynamiques qui définissent le cadre d'opération du système. Pour les identifier convenablement, il convient de poser l'interrogation suivante : « Qu'est-ce qui définit le cadre d'opération? ».

Les tendances lourdes, récentes et/ou émergentes concernent des dynamiques globales de changement et sont souvent documentées dans la littérature. Elles représentent des changements d'état ou des indications sur ce qui va être amené à évoluer et prendre de l'ampleur à l'avenir. Les tendances traitent généralement de changements peu rapides, sur un temps long. Elles permettent de répondre à la question : « Que peut-on déjà prévoir pour demain? ».

Les signaux faibles représentent les premiers signes de changements potentiels. Ils peuvent prendre la forme d'événements, de projets, de courants ou de mouvements sociaux peu médiatisés, mais ayant le potentiel d'être structurant une fois transposés dans un autre cadre d'opération. Ils constituent en quelque sorte les

« germes du futur ». Les signaux faibles aident à anticiper des points de rupture possibles et à penser les impacts systémiques associés. Ils répondent à la question : « Qu'est-ce qui pourrait surgir demain? ».

Enfin, les questions irrésolues de la littérature sont également pertinentes à identifier, car elles font état de controverses qui soulèvent généralement plusieurs enjeux systémiques importants. Leur formulation demande une vision holistique de la problématique et permet de révéler certains angles morts. En d'autres termes, elles répondent à la question : « Qu'est-ce qui demeure imprévisible? ». (Chemins de transition, sous presse)

### **2.2.3 L'analyse morphologique**

Il existe plusieurs méthodes qui permettent d'appliquer les principes de la prospective, comme la méthode Delphi, fortement utilisée dans les projections militaires américaines ou la méthode d'analyse structurelle du rapport Meadows de 1972. Le présent essai s'appuie sur la méthode de l'analyse morphologique, telle que théorisée par Futuribles International (2018). Celle-ci « vise à explorer de manière systématique les futurs possibles, à partir de l'étude de toutes les combinaisons des hypothèses associées à ses variables ou ses composantes » (Futuribles International, 2018). L'analyse morphologique est la méthode recommandée pour les systèmes complexes et elle présente l'avantage d'offrir une grande transparence à toutes les étapes (Futuribles International, 2018). L'objectif de cette méthode est d'élaborer des scénarios prospectifs contrastés en s'appuyant sur la décomposition du système étudié en plusieurs variables structurantes, auxquelles on associe différentes hypothèses d'évolution possibles (Futuribles International, 2018).

#### **Préparer l'analyse morphologique**

Dans le cadre d'une démarche prospective, l'analyse morphologique nécessite un travail préparatoire structuré afin d'assurer la pertinence des résultats. Il faut dans un premier temps décomposer le système étudié en variables pivots, et construire des hypothèses d'évolution pour chacune d'entre elles. Ces variables, identifiées à l'aide de la littérature et de la réflexion, doivent avoir une grande influence sur les possibilités d'évolution du système. Il est également important que les variables ne soient pas dépendantes les unes des autres, bien que lorsqu'elles concernent un système complexe, il n'est pas rare de voir qu'elles s'influencent mutuellement. (Futuribles International, 2018)

Une fois les variables choisies, il faut développer différentes hypothèses d'évolution pour chacune d'entre elles. Pour ce faire, l'élaboration des hypothèses « repose aussi bien sur un raisonnement rationnel et des données que sur l'imagination ». Il est de pratique habituelle de développer de deux à six hypothèses par variable structurante et les hypothèses associées doivent être mutuellement exclusives. (Futuribles International, 2018)



Une fois identifiées, les variables et les hypothèses associées sont organisées dans un tableau morphologique permettant d'assurer que l'ensemble des données du système est traité. Le tableau prend généralement la forme de celui illustré par la figure 2.2.

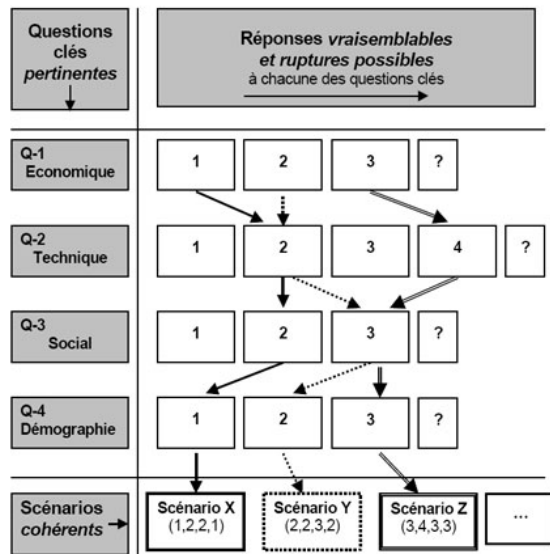
Nom de la variable	H1	H2	H3	H4	H5
Politique environnementale	Maintien et actualisation des objectifs, ambition atteinte avec retard	Relèvement du niveau d'ambition eau et milieux aquatiques	Le climat prime (y compris adaptation au changement climatique)	Le laisser-aller, les activités priment	
Fiscalité / taxation verte	Fiscalité incitative ciblée (+ redevances)	Révolution fiscale « verte » (prélèvements et pollutions)	Moins de fiscalité environnementale (maintien des redevances)	H1 + fiscalité locale et foncière	
Valeurs environnementales des Français	Évolution progressive des comportements (consentement à payer faible)	Montée des préoccupations environnementales et consentement à payer	La crise sociale prend le pas sur les préoccupations environnementales		
Démographie	Accroissement continu (68,5 millions de Français)	Faible croissance démographique (67 millions de Français ou moins)	Forte croissance et migrations (+ de 70 millions de Français)		
Emploi, revenus et redistribution	Prolongation des tendances actuelles, croissance des inégalités	Amélioration de la situation de l'emploi, réduction des inégalités	Réduction globale des revenus, croissance des inégalités		
Économie	Croissance modérée 1,5 %	Stagflation (spirale dépressive)	Positionnement sur les points forts et export (nucléaire, transports, agriculture...)	Positionnement sur les innovations (santé, énergies renouvelables, bio...)	
Localisation de la population	Pôles économiques + sud et ouest + croissant fertile	Villes moyennes et rural diffus	Métropolisation (villes grandes et moyennes)	Mobilité résidentielle réduite	
Scénarios					

Source : extrait du tableau morphologique de la démarche Aqua 2030, conduite en 2011 pour le compte du ministère français de l'Écologie : CGDD (Commissariat général au développement durable), *Eau, milieux aquatiques et territoires durables 2030. Synthèse de l'exercice de prospective*, Paris : ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (Études et documents, n° 91), août 2013, 46 p. URL : <http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0079/Temis-0079054/20841.pdf>. Consulté le 16 novembre 2017. Voir l'exemple détaillé dans l'étude de cas p. 14 et suivantes).

**Figure 2.2 Exemple de tableau morphologique** (tiré de: Futuribles International, 2018)

## L'élaboration de scénarios

Une fois le tableau morphologique en place, il s'agit de réaliser des combinaisons d'hypothèses pour former des trames de scénarios prospectifs, comme cela est illustré dans la figure 2.3. L'objectif en prospective est d'élaborer des scénarios cohérents et vraisemblables, tout en étant contrastés. Pour ce faire, il est important de ne choisir qu'une hypothèse d'évolution par variable, et de ne pas chercher simplement à associer celles qui ont un lien apparent. Au contraire, il est parfois plus facile de concevoir des scénarios contrastés lorsque le lien entre les hypothèses sous-jacentes est moins évident au premier abord. Cela permet de sortir des scénarios tendanciels et repoussoirs.



**Figure 2.3** Tableau morphologique d'un système (tiré de : Bourse et Godet, 2015)

Chaque trame de scénario développée représente alors un jeu d'hypothèses différent, qui donne une vision singulière de l'évolution du système. En prospective, il n'est pas nécessaire de chercher l'exhaustivité des combinaisons possibles. L'emphase est davantage placée sur le contraste entre les différents scénarios de manière à capturer, autant que possible, l'ensemble des trajectoires intermédiaires. (Futuribles International, 2018)

### La rédaction de scénarios prospectifs

La dernière étape consiste à rédiger les scénarios dans un style littéraire de façon à mettre à l'épreuve la cohérence profonde des trames élaborées. En effet, un scénario n'est pas simplement la combinaison d'hypothèses indépendantes, il doit surtout permettre à son lecteur de se projeter dans un avenir crédible. Pour ce faire, le scénario doit contenir les pistes d'un cheminement qui y conduisent depuis la situation actuelle. Pour faciliter la communication, il est important que le scénario soit lisible et adapté à un public non spécialiste. (Futuribles International, 2018)

### **3. LES INGRÉDIENTS DE LA PROSPECTIVE**

Ce chapitre présente une synthèse de la veille effectuée, répartie en trois axes transversaux : 1) la culture et l'éthique du numérique, 2) la place du numérique dans le système socioéconomique et 3) la gestion des ressources naturelles. Chaque axe fait ressortir les principaux constats, tendances, signaux faibles et questions irrésolues afin de pouvoir préparer adéquatement l'analyse morphologique. Le chapitre est ensuite complété par une illustration de la transition numérique dans trois grands domaines sociétaux : la santé, l'éducation et le travail.

#### **3.1 Culture et éthique du numérique**

Dans un premier temps, il s'agit de réfléchir à la manière dont le numérique est perçu dans la société, et dans quelle mesure cela peut être amené à évoluer. Cette première sous-section aborde les aspects culturels et sociaux de la transition numérique.

##### **3.1.1 Les constats**

###### **L'omniprésence du numérique**

En l'espace d'une vingtaine d'années, le numérique est devenu omniprésent dans l'ensemble des sociétés industrielles. Il y a seulement quelques décennies, les TIC étaient considérées comme des outils puissants pouvant donner un avantage compétitif à ceux qui savaient les maîtriser. Or, cette vision du numérique niche n'est plus réellement d'actualité, tant le numérique est devenu l'espace de vie au complet (Moille, 2020). Les technologies numériques, et notamment les applications téléphoniques, sont utilisées pour gérer les contacts, les courriels, les appels, le partage de documents et d'informations. Au niveau collectif, le numérique est aussi présent à chaque étape organisationnelle. De l'administration publique, à la gestion des entreprises en passant par les entités étatiques et les transports, tous ont franchi l'étape de la numérisation de leurs services et utilisent en continu des logiciels pour effectuer suivis et analyses. Somme toute, le numérique ne correspond plus à une simple liste d'outils numériques, il est devenu à la place un environnement complet qui exerce une influence sur la culture et les relations sociales (Moille, 2020).

###### **L'infobésité**

Le déploiement des appareils numériques est allé de pair avec l'explosion de l'utilisation des réseaux sociaux, qui a bouleversé le rapport à l'information. Celle-ci est devenue accessible en quelques instants, sans contraintes physiques, à un tel point que les flux d'informations puissent être parfois considérés excessifs. En d'autres termes, pour la première fois historiquement, la hausse de la quantité d'informations disponible n'est plus synonyme d'une hausse de l'assimilation, et peut être même associée à une baisse de la rétention informationnelle. La difficulté de traiter cette surabondance d'informations, appelée

« surcharge informationnelle » ou « infobésité », serait liée à des déficits de l'attention, des phénomènes d'addiction, d'anxiété ou encore des pertes de mémoire (Sauvajol-Rialland, 2014).

### **La connaissance de soi par les données**

Les données personnelles sont de plus en plus utilisées par les utilisateurs eux-mêmes pour apprendre à se connaître d'une autre manière. Les dernières années ont vu surgir une multiplication des systèmes de mesure d'informations personnelles dans les activités quotidiennes, tels que des applications téléphoniques qui mesurent l'activité et le sommeil, ou des capteurs intégrés qui suivent attentivement la santé et la performance au travail (Ajana, 2017). Cette pratique (*quantified self* en Anglais) est de plus en plus commune et se retrouve associée à des objectifs d'amélioration des performances, du bonheur ou encore de la santé (Anja, 2017).

### **La dématérialisation des services, un facteur d'exclusion**

La dématérialisation des services publics représente parfois un facteur d'exclusion supplémentaire. En effet, on observe une forte hausse des services publics dont l'accès devient exclusivement en ligne (Connexions Solidaires, 2016, 4 juillet). Bien que l'accès numérique puisse être apprécié d'une partie de la population, la dématérialisation de certains services, notamment ceux liés aux programmes sociaux, peut représenter un obstacle supplémentaire pour des personnes déjà en situation de précarité. Cet obstacle, souvent qualifié de « fracture numérique » lorsqu'il est attribué à l'âge des utilisateurs, est dans les faits davantage déterminé par leur situation socioéconomique. En 2015, la *Federal Communications Commission* montrait par exemple que 40 % des habitants de la ville de Détroit n'avaient pas accès à Internet à leur domicile, à cause de la faible capacité de revenus de la population qui ne justifiait pas, aux yeux des entreprises de télécommunication, les investissements nécessaires en termes d'infrastructures (Federal Communications Commission, 2015). Au Québec, on retrouve également une fracture numérique à l'échelle des territoires : en 2019, 340 000 foyers québécois en région n'étaient pas connectés au réseau Internet (MEIE, 2019). Cette double peine vient s'ajouter aux difficultés économiques que connaissent déjà certaines régions québécoises, à cause d'une rareté de main-d'œuvre et un exode rural. Étant mal desservies par les infrastructures de télécommunications, il devient difficile pour certaines d'entre elles d'attirer des talents et de développer l'économie locale, renforçant à nouveau les inégalités territoriales (Bouchard, 2019).

### **3.1.2 Les tendances**

#### **Les fausses nouvelles et l'ère de post-vérité**

Les réseaux sociaux offrent à beaucoup d'individus la possibilité inédite de s'exprimer sans devoir passer par un média institutionnel, et d'atteindre de nombreuses personnes en un temps record. Puissants outils de communication, les réseaux sociaux donnent ainsi une plateforme publique de partage d'opinions, qui

inondent la toile d'avis divers sans passer par un processus de vérification. À cet effet, depuis les dernières années, plusieurs auteurs et organismes alertent sur la croissance exponentielle des fausses nouvelles (*fake news* en Anglais) qui gagnent progressivement en popularité, notamment sur Internet (Pingeot, 2017; Valadier, 2017; Fabre, 2019). Ces informations mensongères ou incomplètes, aux rédacteurs souvent inidentifiables, ont pour objectif de manipuler ou de tromper le public (Valadier, 2017). Au cours des dernières années, on a observé la montée de programmes de trucage vidéo basés sur l'intelligence artificielle. Communément appelés *deepfake* ou hypertrucage, ces programmes utilisent des outils de synthèse d'images qui servent à superposer des fichiers audio et vidéo existants sur d'autres vidéos, en changeant ainsi le visage d'une personne, sa voix, ou les paroles prononcées. Cette technique, dont les applications sont encore expérimentales, pourrait révolutionner le monde de la communication lorsqu'il sera impossible pour un public non averti de distinguer un discours présidentiel d'une contrefaçon malveillante (Christian, 2018, 1 février). Et les conséquences pourraient prendre des proportions alarmantes pour des sujets liés à la sécurité, tels que de fausses déclarations de guerre ou d'attaque nucléaire (Christian, 2018, 1 février). La démultiplication des flux informationnels et l'utilisation de l'IA dans l'altération de contenu rendent la distinction entre opinion et informations vérifiées de plus en plus difficile pour une grande partie de la population. Leur prolifération participerait même à un changement de paradigme informationnel, basculant ainsi le monde dans l'« ère de la post-vérité » (Pingeot, 2017). Popularisée lors du référendum britannique et des élections présidentielles américaines de 2016, l'expression vise à désigner des circonstances dans lesquelles les informations et les faits objectifs sont moins efficaces que les appels à l'émotion et aux opinions personnelles pour modeler l'opinion publique (Fabre, 2019).

### **La remise en question de l'expertise**

En lien avec l'ère de la post-vérité, c'est l'idée même du partage du savoir et de l'expertise qui semble de plus en plus remise en question. Auparavant, le statut de chercheur ou d'enseignant-chercheur bénéficiait d'une forte légitimité associée à un rôle de détenteur du savoir et d'éducateur (Barzam, Gerphagnon et Mora, 2019). Or, Internet a permis de multiplier les sources de la connaissance, remettant en question le rôle classique de l'enseignant comme seul détenteur d'un savoir qu'il transmet (Barzam, Gerphagnon et Mora, 2019). Cette multiplicité des sources d'informations réduit progressivement la frontière palpable entre les pratiques non professionnelles et les sciences institutionnalisées, et introduit ainsi une concurrence des autorités en ouvrant la voie à la participation des non professionnels à la production de connaissances, au détriment de l'expertise (Barzam, Gerphagnon et Mora, 2019).

### **Les bulles d'autorenforcement**

Avec un accès inédit à une multitude de sources permis par Internet, il pourrait être attendu que les usagers soient confrontés à un nombre plus élevé de points de vue, dont une partie serait différente du leur. Or

d'après plusieurs auteurs, l'accès réel à l'information est de plus en plus filtré par les algorithmes des moteurs de recherches et des réseaux sociaux (Bashky et al., 2015). En effet, les algorithmes informatiques qui accompagnent les plateformes numériques se servent des données émises par les utilisateurs pour personnaliser le contenu qui leur est offert afin de les fidéliser. D'une certaine manière, chaque internaute aurait ainsi accès à une version des plateformes web différente. À travers ce phénomène, l'utilisateur s'installe progressivement, et sans s'en rendre compte, dans une bulle optimisée pour sa personnalité supposée (Bashky et al., 2015). Sur les réseaux sociaux, par exemple, les plateformes utilisent l'historique de consultations, les clics et les interactions sociales pour hiérarchiser et filtrer le contenu qui sera jugé le plus pertinent pour l'utilisateur. Ce phénomène donne une impression déformée de la réalité en accordant plus d'importance à certains éléments plutôt qu'à d'autres (Bashky et al., 2015). À la manière d'une chambre d'écho traditionnelle, l'« effet bulle » tend à s'autorenforcer en reproduisant des opinions et des croyances proches de celles de l'utilisateur qui est ainsi, à son tour, de plus en plus convaincu et de moins en moins ouvert aux idées extérieures. Cette tendance pourrait mener à une exacerbation des tensions sociales en réduisant la possibilité de dialogues entre les différentes bulles d'opinions.

### **3.1.3 Les signaux faibles**

#### **Une IA responsable**

Face aux préoccupations éthiques générées par les perspectives d'applications de l'IA, certains acteurs se penchent sur la mise en place de principes établissant un cadre éthique pour pouvoir assurer le développement d'une intelligence artificielle responsable, inclusive, équitable et écologiquement soutenable. Ces préoccupations émergent notamment du milieu académique (La Déclaration de Montréal en IA responsable, portée par l'Université de Montréal), du secteur privé (Microsoft) ou encore du secteur de l'assurance (AXA Research Fund). Les défenseurs de l'IA responsable souhaitent avertir le public de sorte que le développement de l'IA ne soit pas une simple course à l'innovation, mais qu'il soit bénéfique envers les populations. À travers les initiatives, les principes reprennent une série de valeurs jugées fondamentales et incluent entre autres la protection de la vie privée, le respect de l'autonomie, et le principe de prudence (Dilhac et al., 2018).

#### **L'homogénéisation des cultures**

Avec une utilisation croissante d'algorithmes automatisés pour aider à la décision, certains pensent que la tendance actuelle va progressivement vers une homogénéisation des cultures à travers le monde. En effet, en utilisant de plus en plus l'apprentissage machine et les données, les décisions favorisées seront issues d'une optimisation mathématique qui les présentera comme les meilleures à prendre dans le contexte donné. Au fur et à mesure, la recherche constante de l'optimisation pourrait amener à reléguer les considérations

culturelles au second plan, puis progressivement amener vers une standardisation des modes de vie à travers le monde, basés sur l'optimisation algorithmique.

### **3.1.4 Les questions non résolues**

#### **Les questions d'autonomie et de légitimité**

- Quelle sera la place de l'humain dans la société si les technologies numériques sont les seules capables de traiter l'abondance d'informations et de prendre des décisions en conséquence?
- Comment garder le contrôle sur les technologies numériques?
- Garderons-nous la possibilité de nous déconnecter des réseaux?

#### **Les questions de vie privée**

- La commercialisation des données personnelles devrait-elle être mieux encadrée?
- Devrait-on établir des espaces dans lesquels les personnes ne sont soumises à aucune collecte de données?
- Quel contrôle auront les utilisateurs sur leurs propres données?

#### **Les questions liées au bien être**

- Comment s'assurer que les applications technologiques ne contribuent pas au stress, à l'anxiété et au sentiment de harcèlement liés à l'environnement numérique?
- Comment encadrer les mécanismes d'addiction favorisés par le numérique pour éviter les répercussions sur la santé mentale?
- Comment s'assurer que les applications développées pour un objectif précis ne soient pas utilisées à des fins néfastes?

#### **Les questions sur la fiabilité**

- Comment s'assurer que les systèmes automatisés ne propagent pas d'informations peu fiables, mensongères, ou relevant de la propagande?
- De quelle manière pourra-t-on différencier des contenus originaux des contenus altérés par des systèmes d'IA lorsque ceux-ci seront plus performants?

#### **Les questions de transparence**

- Comment s'assurer que le fonctionnement des systèmes automatisés qui prennent des décisions soit intelligible pour leurs concepteurs et les personnes qu'ils conseillent?

### **3.2 La place du numérique dans le système socioéconomique**

Cette deuxième sous-section s'intéresse au rôle que joue le numérique dans le système socioéconomique actuel, et celui qu'il pourrait jouer à l'avenir.

#### **3.2.1 Les constats**

##### **La mainmise de quelques géants numériques**

En dépit de sa puissance, Internet n'est actuellement contrôlé par aucune instance de régulation. De fait, il est le produit de quelques grands acteurs qui ont réussi à accaparer l'essentiel du marché depuis la fin du 20<sup>e</sup> siècle. Les géants américains GAFAM (Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft) et leurs équivalents chinois les BATX (Baidu, Alibaba, Tencent et Xiaomi) capitalisent à eux seuls plus de 4 500 milliards de dollars, soit plus que le produit intérieur brut de l'Allemagne, la quatrième économie mondiale (Chevré, 2019, 11 février). La position considérable de ces entreprises dans le système économique pèse sur la balance des pouvoirs et, partout dans le monde, états et régulateurs cherchent la voie pour encadrer les géants du numérique sans pour autant réussir à imposer de vrais contre-pouvoirs (Chevré, 2019, 11 février). En effet, les technologies de l'information sont centrales aux enjeux commerciaux et géopolitiques et les puissances publiques se questionnent sur le rôle et les responsabilités de telles entreprises. D'un point de vue énergétique, la concentration du secteur numérique est tout aussi palpable : il est estimé que 80 % de la croissance des flux de données des cinq dernières années est attribuable à la consommation des services fournis par les GAFAM (The Shift Project, 2018).

##### **L'industrie des données**

La quantité de données disponibles a été multipliée par huit au cours de la dernière décennie en raison de la forte intégration des périphériques numériques (Portnoff et Soupizet, 2018). À travers leurs activités individuelles, collectives et leur présence sur Internet, les utilisateurs produisent constamment des données qui dépassent celles qu'ils partagent volontairement. Ces données représentent une matière première dont une nouvelle industrie réussit désormais à tirer de la valeur, grâce à des algorithmes de traitement automatisés basés sur l'IA (Portnoff et Soupizet, 2018). Avec une excellente maîtrise des techniques de statistique et des calculs de probabilités, ces systèmes permettent de développer des mécanismes d'anticipation prédictive qui personnalisent l'environnement des utilisateurs, représentant alors une opération à forte valeur commerciale. En 2017, par exemple, 87 % du chiffre d'affaires de Google était issu de la vente de contenus publicitaires personnalisés (Agence France Presse, 2018, 3 mars). Cette possibilité d'extraire des données et de les transformer en valeur économique pousse plusieurs auteurs à comparer les données personnelles au pétrole de 21<sup>e</sup> siècle (Guilbeault, 2019).



## **De nouveaux risques**

La dématérialisation des entreprises et des organisations a fait apparaître un nouveau type de défis : les enjeux de cybersécurité. En effet, la mise en réseau des activités provoque la multiplication des points d'entrée du système et augmente ainsi la vulnérabilité aux agressions informatiques telles que le cyberespionnage, le cyberharcèlement, le cybercambriolage ou encore la cyberfinance criminelle (Accenture, 2019). Que ce soit pour tenter de voler des données, de détruire, d'endommager ou d'altérer le fonctionnement normal de leur système, il est estimé que 62 % des entreprises américaines ont connu des tentatives de cyberattaque en 2018 (Accenture, 2019) et que les dépenses mondiales en matière de sécurité devraient atteindre les 133,7 milliards de dollars en 2022 (Gartner, 2018). Au Québec en 2019, le groupe financier Mouvement Desjardins a par exemple été victime du vol des données personnelles de ses 4,2 millions de membres particuliers, comprenant des informations confidentielles liées à l'identité et aux habitudes d'achat (Péloquin et Pilon-Larose, 2019).

## **IA faible et IA forte**

Bien que l'intelligence artificielle alimente de nombreux fantasmes sur la capacité des machines à prendre le contrôle de la société, la réalité est toute autre. En effet, tous les systèmes actuels utilisant l'intelligence artificielle sont considérés comme relevant de l'IA faible, c'est-à-dire une intelligence artificielle concentrée sur une tâche précise, répétitive, et qui n'est pas en ce sens dotée d'une intelligence réelle ni d'une conscience de soi (Kohler, 2020). L'IA faible est définie en contraste avec une hypothétique IA forte, qui serait dotée de conscience, de sensibilité ou d'esprit et qui, pour le moment, relève encore de la science-fiction (Portnoff et Soupizet, 2018).

### **3.2.2 Les tendances**

#### **Le développement du capitalisme de surveillance**

L'essor des technologies numériques a permis de développer ce que la professeure émérite de l'université d'Harvard Shoshana Zuboff appelle le « capitalisme de surveillance » (Zuboff, 2019). Ce terme désigne selon l'auteure une nouvelle ère du capitalisme dans laquelle l'expérience humaine est considérée comme une manière première, qu'il est possible pour un acteur économique d'exploiter à des fins commerciales. L'entreprise américaine Google aurait été la première à exploiter les données personnelles pour améliorer la qualité des services rendus dans un premier temps, puis à être monétisée sous la pression des investisseurs, marquant ainsi la naissance d'une pratique qui se serait reproduite par la suite comme modèle d'affaires (Zuboff, 2019). À terme, Zuboff estime que l'évolution du capitalisme de surveillance pourrait tendre à la suppression de toute notion de vie privée et d'intimité. Le fondateur et directeur exécutif du magazine technologique *Wired* Kevin Kelly estime lui aussi que dans peu de temps, l'enregistrement des

données, y compris personnelles, sera systématique et permanente grâce à des capteurs directs, mais aussi à travers des images de vie telles que des caméras reliées entre elles pour pallier les faiblesses de la mémoire vive (Kelly, 2016). Cette vision décrit le monde futur comme un « super organisme » associant l'intelligence humaine et celle des machines en liant tous les objets connectés et leurs utilisateurs (Kelly, 2016).

### **La privatisation de nombreux services**

La capacité croissante des grands groupes de l'industrie numérique à capter les données et à développer des modèles performants laisse à penser que de nombreux services publics ne pourront plus à l'avenir rivaliser avec les services proposés par des entreprises privées. C'est le cas déjà de plusieurs outils numériques, tels que la gestion de courriers électroniques, souvent reléguée aux groupes Microsoft et Google, mais à l'avenir la tendance pourrait s'élargir à la recherche, à la santé, le transport ou encore à l'exploration spatiale comme est en train de le montrer l'entreprise américaine SpaceX qui a fourni la fusée utilisée par les astronautes de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dans leur mission spatiale du 27 mai 2020 (Lascar et Rouat, 2020, 30 mai).

### **D'une économie de biens tangibles vers une économie de flux**

L'ère numérique a permis à un nouveau modèle d'affaires de se développer centré autour des plateformes numériques, offrant la place à une économie basée sur le principe d'usage plutôt que sur le principe de propriété (Kelly, 2016). Ce changement de paradigme économique permettrait aux utilisateurs de mettre en vente leurs compétences, biens, ou expérience à une échelle jusque-là inaccessible pour des individus ou des petites entreprises (Future Earth, 2020). De ce point de vue, les plateformes numériques sont en train de retirer le pouvoir économique entretenu par les institutions traditionnelles telles que les hôtels ou les taxis (dans le cas d'Airbnb ou d'Uber), mais d'un autre côté, l'utilisation croissante des plateformes est en train de générer une nouvelle forme de concentration de pouvoir dans les mains de leurs opérateurs (Future Earth, 2020).

### **Des synergies technologiques**

La progression des performances de l'intelligence artificielle et des différentes applications numériques pourrait provoquer des bouleversements dans de nombreux domaines à travers leurs combinaisons. Par exemple, la *blockchain* décentralisée et l'IA centralisatrice pourraient ensemble conduire à des organisations à intelligence décentralisée (Corea, 2019) tandis que la mise en commun de l'IA et de la réalité virtuelle pourrait bientôt faire du téléphone intelligent un remplaçant des magasins physiques (Portnoff et Soupizet, 2018). Cette dernière tendance s'inscrirait dans la continuité du développement du commerce en ligne, qui progresse sans arrêt depuis son apparition. Au Québec, l'achat en ligne a représenté

10,5 milliards de dollars en 2018, soit une hausse de 27 % par rapport à 2017 (CEFRIIO, 2019a). À l'échelle du Canada, le commerce électronique de détail représentait 40 milliards de dollars en 2018, et les projections amènent ce montant à plus de 55 milliards en 2023 (Statista, s. d.).

### **3.2.3 Les signaux faibles**

#### **Les villes connectées**

Le concept des villes connectées connaît un succès médiatique depuis une dizaine d'années, mais les réalisations qui en découlent n'ont pas, pour le moment, révolutionné l'aménagement du territoire (Soupizet, 2020). En utilisant les labels « villes intelligentes » puis, plus récemment « villes cognitives » la métaphore de la ville connectée, comme un organisme animé qu'il convient de doter d'une intelligence, est devenue une expression couramment employée pour évoquer la mobilisation du numérique au service de la ville (Soupizet, 2020). On y retrouve ainsi des projets de villes nouvelles (telles que « Masdar » à Abou Dabi et « Songdo » en Corée du Sud), de redynamisation des villes par le numérique (« Quayside », le projet de quartier Internet de Toronto) et des programmes plus modestes d'intégration d'outils numériques dans les services publics (« Montréal, Ville Intelligente et Numérique »).

#### **Les low-tech**

Les défenseurs des *low-tech* (« basses technologies ») s'inscrivent dans un rejet à l'idéologie du progrès technique et en particulier de la prolifération des périphériques numériques (Bihouix, 2014). Cette démarche consiste à s'interroger sur les besoins de la société, et d'y répondre par des solutions qui minimisent l'énergie requise à la production et à l'usage, diminuent significativement la consommation de matières et les impacts sur l'environnement, tout en redonnant aux utilisateurs de l'autonomie et de la maîtrise sur les outils (La Fabrique écologique, s. d.). Une démarche *low-tech* en vient à se demander (Bihouix, 2014) : pourquoi produit-on? Que produit-on? Comment produit-on?

#### **Un nouveau protocole internet**

En mars 2020, Madhumita Murgia et Anna Gross présentaient un dossier d'enquête réalisée pour le compte du *Financial Times*, dans lequel ils décrivent la volonté du gouvernement chinois de mettre en place un nouveau protocole internet pour remplacer l'architecture technologique qui charpente le Web depuis plusieurs décennies (Murgia et Gross, 2020, 27 mars). Cette volonté s'est manifestée lors d'une rencontre organisée au siège de l'Union internationale des télécommunications (UIT) en septembre 2019, au cours de laquelle des ingénieurs du géant numérique chinois Huawei ont présenté leur projet baptisé « *New IP* » (« nouveau protocole Internet »). Ce protocole viserait à modifier la gestion d'Internet afin de redonner un pouvoir de contrôle aux états qui l'adopteraient (Murgia et Gross, 2020, 27 mars). D'après les journalistes,

ce protocole servirait à remplacer l'Internet d'aujourd'hui, jugé instable et très insuffisant par les représentants de la compagnie chinoise.

### **Les données ouvertes et les communs numériques**

Défini par l'*Open Knowledge Foundation* en 2005, le mouvement des données ouvertes (« *open data* » en anglais) désigne des données auxquelles tout le monde a accès, et que n'importe qui peut utiliser ou partager. Celles-ci reposent sur la disponibilité et l'accès, la réutilisation et la redistribution, ainsi que la participation universelle (Open Knowledge Foundation, s. d.). Le mouvement souhaite aller à l'encontre des pratiques des grands acteurs du numérique, et essaie souvent d'en reproduire les services pour fournir une version plus transparente et accessible. Cette philosophie se retrouve au cœur de la conception de communs numériques, qui désignent des ressources produites ou entretenues collectivement et gouvernées pour assurer leur caractère collectif et partagé (Open Knowledge Foundation, s. d.). À l'inverse des communs traditionnels, l'usage des communs numériques par les uns ne limite pas l'accès aux autres, rendant ainsi la ressource non rivale et non exclusive. C'est cette particularité qui rend les communs numériques attractifs à grande échelle, car ils gagnent à être partagés pour augmenter la valeur de la ressource et étendre la communauté qui la préservera (Open Knowledge Foundation, s. d.). On retrouve des communs numériques basés sur les données ouvertes dans une diversité de secteurs : le système d'exploitation Linux, le navigateur Internet Firefox ou encore l'encyclopédie en ligne Wikipédia mais aussi OpenFoodFact qui constitue une base de données libre sur les produits alimentaires commercialisés dans le monde.

### **3.2.4 Les questions non résolues**

#### **Les questions liées à l'emploi**

- Comment accompagner les travailleurs qui seront rendus obsolètes par les systèmes d'IA?
- Comment répartir la richesse créée par les machines?

#### **Les questions liées à la transparence des données**

- Comment éliminer les partis-pris des systèmes d'IA?
- Quel niveau de transparence exiger des systèmes de traitement, surtout lorsque ceux-ci sont utilisés dans la prise de décision?

#### **Les questions de gouvernance**

- Quels sont le rôle de l'état et des acteurs privés dans l'accès aux données?
- Quelle souveraineté du numérique devrait-on développer?

### **3.3 La gestion des ressources naturelles**

À la frontière entre les transitions numérique et écologique se trouve la problématique des ressources naturelles. En effet, la transition numérique repose sur une consommation énergétique croissante qui contribue à l'extraction de combustibles fossiles et à l'accélération des changements climatiques.

#### **3.3.1 Les constats**

##### **Une dépendance énergétique aux combustibles fossiles**

Le système de production et de consommation global actuel est encore fortement dépendant aux énergies fossiles pour assurer son fonctionnement. En effet, en 2018, plus de 80 % de la consommation énergétique mondiale était d'origine fossile (le pétrole représente 32 %, le charbon 27 % et le gaz naturel 22 %) (The Shift Project, 2018). Jusqu'à présent, les nouvelles énergies renouvelables (photovoltaïque et éolienne) ne sont pas parvenues à remplacer les sources d'énergies fossiles et se sont au contraire ajoutées aux autres sources d'énergie dans la consommation mondiale (York et Bell, 2019). Au Québec, près de 50 % du mix énergétique est issu de sources fossiles (35 % pour le pétrole, 14 % pour le gaz naturel et 0,8 % pour le charbon) malgré une forte capacité hydroélectrique (Whitmore et Pineau, 2020).

##### **Les métaux de la transition**

Pour effectuer une transition vers une économie sobre en carbone, beaucoup font appel au déploiement de l'électrification et des énergies renouvelables. Or, la possibilité de déployer éoliennes, panneaux photovoltaïques et batteries dépend entièrement de l'accès à des quantités importantes de matières et de métaux tels que le cuivre, le lithium, le manganèse, le nickel, le cobalt ou encore les terres rares. Les périphériques numériques personnels dépendent également de la disponibilité de ces métaux : il en faudrait une quarantaine pour fabriquer un téléphone intelligent, chacun dans des quantités allant de quelques milligrammes à quelques dizaines de grammes (Ferreboeuf, 2018). Ces métaux sont nécessaires pour leurs propriétés optiques, catalytiques, chimiques, et semi-conductrices qui les rendent très difficiles à substituer (Eyl-Mazzega et Mathieu, 2020). Or les quantités de métaux disponibles dans la croûte terrestre ne sont pas infinies. En mai 2020, l'Agence Internationale de l'Énergie publiait une étude visant à alerter des risques majeurs d'approvisionnement de matières premières stratégiques à venir (AIE, 2020). En effet, depuis 2015, l'électrification des transports et les grilles de stockage représentent 35 % de la demande totale en lithium et 25 % de la demande de cobalt (AIE, 2020). Cette augmentation récente de la demande a fait bondir les prix : celui du cobalt a par exemple été multiplié par 5 entre 2016 et 2018. L'AIE tire la sonnette d'alarme sur la nécessité d'aborder la transition énergétique du point de vue des métaux, jugé « aussi essentiel que la sécurité d'approvisionnement en pétrole, gaz et électricité » (AIE, 2020).

##### **Une gestion de fin de vie difficile**

La gestion de fin de vie des périphériques numériques est pour le moment un problème auquel peu de solutions ont été apportées. En 2018, sur les 50 millions de tonnes de déchets électriques et électroniques générés dans le monde, seuls 20 % étaient identifiés comme ayant été pris en charge par une filière de recyclage autorisée (Ferreboeuf, 2018). Et même une fois pris en charge, la petite taille des composantes utilisées et les mélanges d'alliages réalisés rendent le recyclage extrêmement ardu : pour l'indium, le gallium, le tantale et le germanium, le taux de recyclage est inférieur à 1 % (Ferreboeuf, 2018). Les déchets électroniques qui ne sont pas recyclés sont enfouis, entreposés dans des décharges en plein air ou incinérés, et provoquent des problèmes sanitaires et environnementaux en contaminant les sols, les cours d'eau et les nappes phréatiques (Bihouix, 2014). Le faible taux de récupération renforce la problématique des métaux, car la fabrication des appareils et infrastructures numériques dépend de l'extraction constante de nouvelles ressources.

### **3.3.2 Les tendances**

#### **Un tarissement des réserves d'hydrocarbures**

Selon l'Agence Internationale de l'Énergie, le pic de pétrole conventionnel aurait été atteint en 2008 et la production aurait depuis décliné de 2,5 millions de barils par jour, représentant une chute annuelle de l'ordre de 2,5 % (AIE, 2018). Or, la production de pétrole mondiale a continué à augmenter sur la même période, soutenue par la production de pétrole dit « non conventionnel », tel que les sables bitumineux d'Alberta ou le pétrole de schiste américain. Cependant, le pétrole non conventionnel est par définition plus difficile à extraire et n'offre qu'un décalage temporel du déclin de la production. Tous types de pétroles confondus, il semblerait que le maximum historique de production ait été atteint en fin d'année 2018 et décroîtrait depuis (Jancovici, 2018). En parallèle, les puits déjà en production seraient en baisse de 6 % par an, et doivent ainsi être remplacés par de nouveaux puits pour compenser ce déclin. Étant donné la dépendance du système économique à l'approvisionnement en hydrocarbures, les signes énergétiques pointent à des contractions économiques importantes au cours des prochaines de la prochaine décennie (Jancovici, 2018).

#### **Une consommation énergétique à la hausse**

L'empreinte énergétique du numérique suit une trajectoire insoutenable : elle est actuellement en progression de 9 % par an, notamment à cause de l'explosion des usages vidéo et de la multiplication des périphériques numériques fréquemment renouvelés (The Shift Project, 2018). De manière additionnelle, l'intensité énergétique de l'industrie numérique augmente de l'ordre de 4 % par an, ce qui va à contre-courant de l'intensité énergétique du PIB mondial qui elle baisse de 1,8 % par an (The Shift Project, 2018). Si les tendances ne sont pas infléchies, la consommation énergétique du secteur risque d'exploser à l'avenir. Il est estimé qu'entre 2010 et 2025, le nombre d'équipements numériques aura quintuplé et que son

empreinte environnementale aura été multipliée par deux à trois fois (Bordage, 2019). En dehors de l'augmentation du nombre d'utilisateurs, l'augmentation de la facture énergétique du numérique sera principalement liée :

- aux objets connectés, dont le nombre sera multiplié par 48 entre 2010 et 2025;
- au doublement de la taille des écrans entre 2010 et 2025;
- au tassement des gains en matière d'efficacité énergétique;
- et à l'équipement des pays émergents, dont l'électricité est souvent de source carbonée. (Bordage, 2019)

### **Des gains énergétiques insuffisants**

L'efficacité énergétique des périphériques numériques a fait d'énormes progrès depuis la mise sur le marché des premiers produits : en suivant la loi de Koomey, on observe que la quantité d'énergie dont une machine a besoin pour effectuer un nombre donné de calculs a diminué d'un facteur deux chaque année et demie. En d'autres termes, le nombre de traitements (capacité) par joule (quantité d'énergie) a doublé presque systématiquement tous les 18 mois (Bordage, 2019). Or, les gains d'efficacité énergétique (notamment sur la phase d'utilisation) ont connu un ralentissement au cours des dernières années et ne compensent plus la hausse continue du bilan énergétique du secteur (Bordage, 2019). Par exemple, l'efficacité énergétique des centres de données progresse en moyenne de 15 % à 20 % par an mais le volume de données à traiter augmente de 35 % par an (Ferreboeuf, 2018). En outre, il semblerait que les technologies actuelles approchent de leurs limites et que les perspectives de technologies futures (comme les processeurs quantiques par exemple) d'être industrialisées à courte échéance soient faibles (Ferreboeuf, 2018).

### **Des tensions géopolitiques autour des ressources clés**

Les projections de la demande en matières stratégiques, notamment les métaux, laissent à penser que la géopolitique sera un facteur structurant dans les prochaines décennies. En effet, la demande pour le lithium devrait tripler d'ici à 2025, celle du cuivre devrait augmenter de 20 % et celle du cobalt pourrait augmenter de 60 à 100 % sur la même période. À l'échelle planétaire, on observe de nouvelles stratégies d'acquisition de la part de puissances économiques qui jouent leurs cartes afin d'accaparer les marchés en expansion pour les technologies basses carbone ayant vocation à devenir les piliers des systèmes énergétiques de demain. Or, la disponibilité de ces métaux est concentrée dans un nombre limité de pays qui attirent l'attention des grandes puissances économiques : Argentine, Bolivie, Russie, Afrique du Sud, Kazakhstan, Brésil, République démocratique du Congo. Au cours des dernières années, l'investissement minier s'est plus particulièrement concentré sur l'Amérique latine et l'Afrique. Cette situation a favorisé la concentration

des activités aux mains d'entreprises chinoises qui dominent souvent l'extraction et le raffinage des métaux critiques et terres rares. Ainsi, cinq entreprises se partageraient 90 % de la production mondiale de lithium, dont trois sont chinoises ou à capitaux chinois. La disponibilité des ressources de la transition risque de devenir un enjeu géopolitique majeur, et de générer des tensions dans un contexte de rivalités économiques et technologiques. (Eyl-Mazzega et Mathieu, 2020)

### **3.3.3 Les signaux faibles**

#### **La sobriété numérique**

À contre-courant de l'augmentation perpétuelle des usages, certains militent pour une forme de sobriété numérique afin de réduire autant que possible la facture environnementale du secteur. Au niveau individuel, la sobriété numérique consisterait à allonger la durée de vie de ses périphériques au lieu de les remplacer, et de repenser ses usages en fonction de leur impact environnemental. Selon les experts du Shift Project, « la sobriété numérique consiste à passer d'un numérique instinctif à un numérique réfléchi » (The Shift Project, 2020). L'organisme propose également des cadres opérationnels pour mettre en place la sobriété numérique au sein des stratégies de politiques publiques, dans l'entreprise et dans les systèmes d'usages du domaine privé. Dénonçant le solutionnisme technologique très présent dans l'industrie, les experts soutiennent notamment que l'introduction d'une technologie numérique, même dans le but de produire des gains environnementaux, devrait faire l'objet d'une réflexion a priori. Appliquée aux outils numériques eux-mêmes, la sobriété pourrait se retrouver dans la conception (poids et design de sites Internet, objets utilisant des matériaux disponibles localement) et l'énergie nécessaire pour les faire fonctionner. On pourrait par exemple imaginer des systèmes d'IA avec une faible puissance de calcul et qui se basent sur un nombre limité d'exemples pour s'entraîner. Avec un certain nombre de mesures, le think tank propose un scénario sobre qui « démontre qu'il est possible d'infléchir une première fois la dynamique du numérique sans pour autant remettre en cause le principe même de la transition numérique » (The Shift Project, 2020).

#### **L'économie circulaire**

Afin de proposer une alternative au schéma linéaire de production et de consommation qui prévaut depuis la révolution industrielle basé sur l'extraction de matières premières naturelles et les déchets en fin de vie de produits, certains économistes appellent à la transition vers une économie circulaire. L'économie circulaire vise à découpler la croissance économique de l'épuisement des ressources naturelles, notamment par la création de produits, services, modèles d'affaires et politiques publiques innovants et pensés sur une perspective de temps long (Institut économie circulaire, s. d.). Le modèle repose sur la création de cycles d'utilisation et de réutilisation de la matière ou du produit avant la destruction finale et met l'accent sur le



changement des modes de conception de produits (Institut National de l'Économie Circulaire, s. d.). Appliquées au numérique, les stratégies de circularité dépendent notamment de la conception des périphériques : il s'agit alors de créer des équipements qui sont facilement démontables et réparables par les utilisateurs en utilisant des pièces identifiables et détachables pour étendre la durée de vie des équipements et favoriser la prise en charge et la réutilisation des pièces et des matériaux qu'ils contiennent. L'entreprise néerlandaise Fairphone qui conçoit des téléphones intelligents suivant des principes de circularité a vendu un peu plus de 100 000 unités en Europe depuis leur commercialisation en 2013 (Anderson, 2019, 27 août).

### **La décroissance**

Face aux externalités environnementales et sociales de la poursuite de la croissance économique, certains appellent à mettre en place une décroissance anticipée afin de réduire la dépendance du système socioéconomique aux énergies fossiles et à l'idéologie du progrès. Le concept de décroissance relève d'une démarche volontaire dans laquelle la richesse économique produite n'augmenterait pas, voire diminuerait. Sous le slogan « moins de bien, plus de liens » les partisans de la décroissance appellent notamment à prendre conscience des limites planétaires dont la finitude des ressources et défendent que seule une réduction de la production et de la consommation globales pourrait rendre les trajectoires futures souhaitables et soutenables. (Abraham, 2020)

#### **3.3.4 Les questions non résolues**

##### **Les questions qui relèvent de la régulation d'Internet**

- Devrait-on accorder des capacités de calculs différentes en fonction de l'utilisation, et ainsi abolir le principe de neutralité du net?
- L'État devrait-il réguler l'usage numérique compte tenu de ses impacts environnementaux?

##### **Les questions d'efficacité énergétique**

- Les mécanismes de type *nudge* de l'économie comportementale devraient-ils être mis en place pour favoriser des comportements qui tendent à réduire l'empreinte énergétique?
- Comment s'assurer que les gains en efficacité énergétique ne mènent pas à une augmentation de l'usage et ainsi une hausse de la consommation énergétique finale (effet rebond)?

##### **Les questions sur les déchets électroniques**

- Comment concevoir les composants électroniques nécessaires aux périphériques numériques de manière à faciliter leur réutilisation et recyclage?

- Doit-on instaurer des mécanismes de prix plus contraignants pour favoriser la récupération de composantes électroniques?

### **3.4 La transition numérique dans trois grands domaines**

Enfin, dans cette dernière partie sont abordés trois grands domaines sociétaux dans lesquels la transition numérique est une force majeure de changement : la santé, le travail et l'éducation. Considérés comme des univers plutôt que comme des axes multidisciplinaires, les domaines sont ici abordés de manière globale et ne sont pas divisés selon la catégorisation prospectiviste.

#### **3.4.1 La transition numérique dans la santé**

Dans le milieu médical, le numérique est généralement perçu comme une véritable révolution dans la capacité à apporter du soin, anticiper, prévenir des pathologies et aider aux diagnostics. Cependant, chez les patients, le numérique est également associé à des risques, notamment liés à la confidentialité des données.

##### **Les systèmes d'information**

La numérisation des systèmes d'information, notamment des dossiers de patients a permis l'essor d'une grande coordination des soins au sein des établissements de santé, entre les différents départements, ou au sein des territoires de soins comptant plusieurs établissements. Au Québec, la création de l'outil numérique Dossier santé Québec (DSQ) permet, à la fois aux citoyens et aux professionnels, de consulter de l'information relative à leur santé, peu importe où ils se trouvent (Gouvernement du Québec, 2020). Cet outil permet de réduire le temps de recherche d'informations essentielles, d'optimiser la collaboration entre différents spécialistes, et de fournir un ajustement optimal de la médication grâce à la consultation de l'historique de médicaments et de résultats (Gouvernement du Québec, 2020).

##### **L'aide au diagnostic**

À ce jour, l'une des applications du numérique les plus prometteuses dans la santé est celle de l'aide au diagnostic de différentes maladies par l'intelligence artificielle. En s'entraînant sur des milliers d'images, les systèmes de traitement sont capables de détecter des formes géométriques récurrentes qui sont parfois invisibles à l'œil nu, et permettent d'améliorer considérablement le diagnostic réalisé par le spécialiste. Pour démontrer le potentiel des systèmes d'intelligence artificielle dans l'aide au diagnostic, Seoane et Capdevila ont montré par exemple que leur algorithme de détection de mélanomes (cancer de la peau) avait un taux de réussite dans 95 % des cas, faisant ainsi nettement mieux que les 58 médecins dermatologues qui prenaient part à l'étude et qui ont posé le bon diagnostic dans 87 % des cas (Seoane et Capdevila, 2018).

##### **Recentrer le rôle des spécialistes**

L'utilisation de l'IA dans la médecine permet d'effectuer des diagnostics précis et de gagner beaucoup de temps sur l'observation des images, mais n'est pas en mesure d'expliquer les causes d'un symptôme détecté, autre que pour des raisons statistiques. En effet, la programmation algorithmique ne permet que de détecter des corrélations et n'est pas en mesure de prendre en compte des considérations qualitatives. Pour cette raison, le Conseil national de l'ordre des médecins français (Cnom) recommande à ce que le développement des dispositifs techniques soit orienté vers l'aide à la décision médicale et non vers le remplacement de la décision médicale sur une base d'optimisation algorithmique. Il est important, selon le Conseil, de recentrer le rôle du spécialiste autour de la prise en charge du patient dans sa totalité et non plus autour de ses facultés techniques, qui peuvent désormais être assistées par des systèmes de traitement. Comme l'explique le Cnom :

« [...] la formation aux humanités, à la déontologie et à l'éthique, aux relations humaines doit être renforcée dans un monde qui se technicise de plus en plus car [...] plus l'enseignement devient scientifique, plus le degré d'empathie doit être renforcé ».

Selon le Conseil, « le médecin doit se souvenir qu'il soigne une personne qui est malade et pas seulement une maladie ». (Portnoff, 2018)

### **Des outils pour l'autonomie**

L'accès à certains objets connectés peut permettre à des citoyens en situation de mobilité réduite d'avoir une plus grande autonomie. À Montréal, une équipe dirigée par Joëlle Pineau de l'Université McGill en collaboration avec l'Université de Montréal et Polytechnique travaille présentement sur le développement d'un fauteuil roulant intelligent qui permettrait d'assister des personnes en situation de mobilité. Ce projet baptisé *SmartWheeler* vise à concevoir une interface qui puisse identifier les commandes vocales de l'occupant du fauteuil pour les transformer en commandes mécaniques amenant le fauteuil à se déplacer dans la direction désirée (Guilbeault, 2019). Il s'agit donc d'intégrer des algorithmes d'instruction vocale et de détection de mouvements aux alentours du fauteuil pour permettre une connexion rapide entre la chaise et son environnement, afin d'assurer une navigation autonome fluide dans les foules ou les situations sociales. On retrouve également des applications numériques pour la mobilité dans la prise en charge des aînés de certains pays. Au Japon, par exemple, où 28 % de la population était âgée de 65 ans et plus en 2017, on déplore des problèmes de pénurie de main-d'œuvre de l'ordre de plusieurs centaines de milliers de postes (Wiederhold, 2017). C'est dans ce contexte qu'est né Robear, un compagnon numérique développé par le centre de recherche Riken, qui permet d'apporter plus d'autonomie aux personnes âgées qui vivent dans leur domicile, et ainsi réduire les besoins en personnel nécessaire dans le secteur de la santé (Wiederhold, 2017). Le compagnon numérique est par exemple capable de déplacer un usager d'un lit vers un fauteuil et de seconder un préposé aux soins dans des tâches plus physiques. L'utilisation de capteurs de rétroaction sur les robots permet au système d'évaluer la situation en permanence et d'ajuster son aide en

fonction des habitudes de l'utilisateur. Des assistants robotiques seraient déjà à l'œuvre dans 8 % des centres pour personnes âgées au Japon (Hurst, 2018, 18 février).

### **L'anticipation de problèmes médicaux**

À l'aide de l'apprentissage machine, les systèmes d'IA ont le potentiel de prévenir l'apparition de certaines maladies ou de situations potentiellement mortelles grâce à l'identification de facteurs significatifs à travers l'étude de mégadonnées médicales. La société américaine Verily Life Sciences, filiale d'Alphabet qui possède Google, souhaite par exemple utiliser l'IA pour anticiper les crises cardiaques à partir d'une imagerie oculaire, de l'âge et de la pression artérielle d'un individu. En ayant entraîné l'outil sur les données de 300 000 patients, celui-ci a été capable de détecter les cas à risque dans 70 % des cas alors que les méthodes actuellement utilisées ont un taux d'efficacité de 72 % (Poplin et al., 2018). La technologie est pour le moment expérimentale mais ses résultats sont prometteurs.

### **Les inquiétudes**

Enfin, si les applications du numérique dans le secteur de la santé sont multiples et semblent en grande partie révolutionnaires, la numérisation de la santé provoque également des préoccupations. Tout d'abord, la question sensible de la confidentialité des données est un point d'inquiétude central : en effet, l'exploitation des données est nécessaire pour améliorer les systèmes d'intelligence artificielle mais celles-ci, dont une grande partie bénéficie du secret médical, doivent être en permanence sécurisées et rendues anonymes. Dans leur stratégie de lutte contre la propagation de la pandémie COVID-19, plusieurs gouvernements ont ainsi demandé à la population d'installer une application permettant de tracer les déplacements et les interactions pour cibler et avertir les personnes potentiellement infectées et ont généré des débats d'opinion autour de la légitimité d'une telle concentration de l'information, et de l'usage final des données récoltées (Cho, Ippolito et Yu, 2020). Ensuite, l'intégration des technologies de la santé et la nécessité grandissante que les médecins et soignants les maîtrisent requièrent des changements majeurs dans les parcours de formation qui doivent désormais inclure l'apprentissage technique des outils à leur disposition. Enfin, certains craignent que le rôle de pilote technique du médecin prenne le dessus sur les relations avec les patients et que l'approche au soin se déshumanise au fil du temps.

### **Les questions irrésolues en lien avec la transition numérique dans la santé :**

- Est-il acceptable de remplacer le personnel médical par des équivalents automatisés?
- Les opérations médicales devraient-elles être automatisées?
- Est-il acceptable de baser des décisions de vie ou de mort sur des algorithmes?
- Est-il préférable de confier l'accompagnement des personnes âgées à des systèmes automatisés?
- Comment encadrer le consentement des patients à partager leurs données?

- À quel prix pourront être offerts les services de santé améliorés par le numérique? Ceux-ci augmenteront-ils les inégalités d'accès aux soins?

### **3.4.2 La transition numérique dans le travail**

L'essor du numérique et sa pénétration dans l'ensemble des secteurs d'activité provoquent également des changements majeurs dans le monde du travail, tant au niveau de son cadre que de sa nature.

#### **Une remise en question de la distinction entre vie privée et vie professionnelle**

La dématérialisation des moyens de communication, notamment professionnels, met au défi la démarcation traditionnelle de la vie professionnelle, longtemps attribuée au lieu physique. Avec le développement de pratiques de télétravail, la distinction entre la vie privée et la vie professionnelle s'opacifie et l'utilisation généralisée d'équipements numériques établit une nouvelle norme de connexion. En l'espace de quelques années, le fait de ne pas être réactif est devenu un comportement anormal, devant être justifié. Comme l'explique le sociologue Francis Jauréguiberry,

« La normalité est de décrocher immédiatement son téléphone, surtout s'il est portable, la normalité est de répondre dans la demi-journée, voire dans certains cas dans l'heure aux e-mails reçus, et il y a de fortes chances pour que la géolocalisation de chacun devienne très vite, elle aussi, tout aussi normale » (Jauréguiberry, 2014).

#### **Le travail à la demande**

En outre, l'essor du travail à la demande permis par la multiplication des plateformes numériques brouille également la frontière entre le statut de salarié et celui d'indépendant. En effet, on observe avec la transition numérique l'apparition de formes de travail inédites, qui ne rentrent pas dans les catégories établies et pour lesquelles on peine pour le moment à instaurer un encadrement juridique adapté (Valenduc, 2017). C'est le cas par exemple des plateformes de livraison en ligne, telles que Deliveroo, Uber, ou Foodara qui font appel à des travailleurs indépendants rémunérés à la tâche et dont les fonctions ressemblent à celles d'un employé (Valenduc, 2017). C'est le cas également du microtravail, fourni notamment par Amazon Mechanical Truck ou Click Worker qui rémunèrent les employés au clic sur des séries longues de tâches répétitives pour entraîner les systèmes d'intelligence artificielle (Valenduc, 2017).

#### **Entre complémentarité et substitution**

L'intégration d'outils numériques dans l'univers du travail peut avoir des effets de substitution ou de complémentarité dépendamment du secteur de la situation. En effet, certains outils, notamment ceux qui se basent sur l'apprentissage machine, permettent de réaliser des tâches autrefois impossibles à effectuer pour des raisons d'expertise ou de coûts. En témoignent notamment l'analyse des électrocardiogrammes dans le secteur de la santé ou la détection d'anomalies dans les mégadonnées des systèmes bancaires. Cependant,

dans d'autres cas, les outils numériques réalisent des tâches qui étaient jusqu'alors effectuées par l'humain. Les travaux autour du véhicule autonome risquent par exemple de bouleverser l'activité de la conduite professionnelle à l'avenir. Enfin, il arrive que l'intégration du numérique conduise à une forme hybride, où l'outil sert à assister à la prise de décision. La tâche réalisée par l'humain n'est pas modifiée mais l'intégration d'un dispositif numérique lui permet d'avoir accès à plus d'information pour la réaliser. (Benhamou et Janin, 2018)

### **Une transformation des qualifications**

Enfin, les technologies numériques ont le potentiel de changer la qualification des travailleurs qu'ils assistent. Dans certains cas, comme dans le service à la clientèle ou la relation client, si les demandes simples et connues peuvent être traitées par des systèmes d'IA, les cas complexes sont par la suite transférés aux conseillers humains qui peuvent utiliser leur expertise pour les traiter. Ce type de situation peut ainsi résulter en l'augmentation de la qualification des travailleurs concernés et à l'intensification du travail, qui évolue vers une concentration de problématiques plus difficiles à traiter. Dans d'autres cas, tels que le domaine de la santé, les systèmes d'IA peuvent remplacer les spécialistes dans des procédures compliquées et ainsi induire une déqualification relative des travailleurs humains. (Benhamou et Janin, 2018)

### **Les questions irrésolues en lien avec la transition numérique dans le travail :**

- Comment assurer la protection des travailleurs à travers les nouveaux modèles économiques induits par la transition numérique?
- Comment encadrer la discrimination des travailleurs basée sur les données?
- Comment s'assurer que les systèmes d'IA permettent d'améliorer les conditions de travail?
- Comment conserver les liens de sociabilité entre les individus dont le travail se dématérialise?

### **3.4.3 La transition numérique dans l'éducation**

Étant donné l'omniprésence des technologies numériques dans les autres secteurs de la société, il est important de s'intéresser aux opportunités et aux défis de leur intégration dans l'éducation. De nouvelles ressources éducatives se développent et amènent des changements fondamentaux au sein des systèmes éducatifs, tant pour les étudiants que les enseignants.

#### **Le numérique dans les salles de classe**

L'intégration d'ordinateurs et de tablettes tactiles dans les écoles primaires et secondaires a suscité un engouement assez important au début des années 2010, où de plus en plus de pays ont commencé à les voir apparaître dans les salles de classe. Au Québec, la présence en classe de tablettes tactiles a été étudiée par Karsenti et Fievez (2013) auprès de plus de 6000 élèves et de 300 enseignants. Leur recherche montre que

l'usage de tablettes à l'école était lié à une plus grande motivation chez l'élève et un meilleur accès à l'information (Karsenti et Fievez, 2013). Villemonteix et al. (2015) ont montré par la suite que l'usage de la tablette en classe participait à rendre les élèves plus autonomes dans leur pratique d'écriture numérique et permettait de développer la collaboration spontanée (Villemonteix et al., 2015). Pour les élèves ayant des difficultés d'apprentissage, les outils numériques semblent également pouvoir avoir un apport éducatif. En 2015, Heitz montrait que sur 95 élèves en situation de handicap, les outils numériques pouvaient apporter de nombreux avantages :

« [...] dans une modification de leur rapport aux apprentissages, dans l'appropriation de compétences langagières orales et écrites, dans la modification des interactions au sein des groupes ainsi que dans l'évolution de la place de ces élèves au sein de l'école » (Heitz, 2015).

À cela s'ajoute une étude plus récente de Karsenti et Bugmann qui montre que l'utilisation d'outils numériques dans la salle de classe peut jouer un rôle positif dans le développement de l'estime de soi des élèves, dans leur insertion professionnelle future et dans la qualité des résultats scolaires (Karsenti et Bugmann, 2018). Si l'intégration de technologies numériques semble être bien accueillie par les étudiants représentés dans les études, elle se heurte aussi à des défis tels qu'une diminution du temps passé sur chaque activité et un contre-emploi de l'application utilisée (Garnier, 2017). Sur ce dernier point, Blocquaux (2017) estime que les frontières de l'enfance et de l'adolescence sont « fragilisées par ce type d'expérience – celle du virtuel – qui prend une part très significative de leur temps » pouvant développer des comportements de cyberaddiction en l'absence d'un cadre éducatif du contenu virtuel (Blocquaux, 2017).

### **Le numérique dans l'enseignement supérieur**

Au sein de l'enseignement supérieur, la transition numérique modifie les contenus, les outils et les méthodes pédagogiques. Tout d'abord, l'intégration du numérique permet une personnalisation du parcours éducatif de l'étudiant : de nouveaux dispositifs sont capables de prendre en compte son vécu, ses connaissances acquises, ses motivations à se former, son niveau initial et où il veut arriver. Ensuite, on observe progressivement un changement dans les compétences enseignées : les compétences transversales telles que la pensée critique prennent de plus en plus de place dans les curriculums qui partent du principe que l'étudiant devra certainement se former toute sa vie et ainsi dépasser sa formation initiale. Par ailleurs, avec une multiplication des contenus éducatifs et des formations disponibles en ligne, les étudiants ont désormais accès à une plus grande diversité d'outils pour étendre leur expérience universitaire. On parle parfois de campus numérique, où l'apprentissage se poursuit en-dehors des salles de cours. Enfin, les supports utilisés pour l'apprentissage évoluent pour devenir de plus en plus informatisés et permettent la mise en place de nouvelles méthodes d'enseignement, telles que la pédagogie inversée qui mobilise une préparation initiale de l'étudiant et optimise le temps passé en classe pour réaliser des exercices d'application et de découverte, ou l'intégration de systèmes de rétroaction au sein des cours magistraux. (Barzman et al., 2019)

## **Les outils vus par les enseignants**

Le corps enseignant doit également s'adapter à de nouvelles pratiques en lien avec l'intégration d'outils numériques dans le système éducatif. Au Québec, d'après une étude réalisée par la Chaire de recherche du Canada sur les technologies en éducation auprès de 439 acteurs scolaires, l'« intégration des technologies en éducation revêt de nombreux avantages, mais [...] cela n'enlève aucunement les défis rencontrés par les acteurs scolaires » (Karsenti, 2018). Parmi les enseignants interrogés, la plupart estiment que l'intégration d'outils numérique augmente leur charge de travail, mais aboutit à une plus grande motivation pour les élèves, en lien avec des outils plus stimulants et concrets. Selon eux, l'utilisation d'outils numériques dans le processus d'enseignement-apprentissage rend les élèves plus concentrés, plus attentifs, et plus enclins à réussir des projets connectés à la réalité de la vie quotidienne (Karsenti, 2018). Les défis principaux que la communauté enseignante reportait vis-à-vis de l'intégration du numérique sont principalement le manque de temps additionnel qui leur est attribué pour faire face aux nouveaux défis, les problèmes techniques rencontrés dans leur pratique et le manque de formation aux nouveaux outils numériques (Karsenti, 2018).

## **L'avenir de l'éducation numérique au Québec**

Le gouvernement québécois ne cache pas ses ambitions pour l'évolution du système éducatif de la province et le rôle de la transition numérique dans celle-ci. Il affirme notamment que « c'est par l'éducation en tout premier lieu que le Québec pourra se développer en tant que société numérique inclusive, équitable et innovante ainsi que devenir un leader mondial dans le domaine du numérique » (MEES, 2018). Par le biais de son Plan d'action numérique qui mobilise plus d'un milliard de dollars sur cinq ans, le ministère de l'Éducation vise à soutenir le développement des compétences numériques des jeunes et des adultes, exploiter le numérique comme vecteur de valeur ajoutée dans les pratiques d'enseignement et d'apprentissage et créer un environnement propice au déploiement du numérique dans l'ensemble du système éducatif (MEES, 2018). Les mesures pour parvenir à ces trois orientations incluent un soutien au personnel enseignant pour développer les compétences numériques requises et intégrer une culture numérique dans l'établissement, le déploiement de l'offre de formation à distance et la mise en place d'un dossier numérique unifié qui suit l'élève tout au long de son parcours éducatif (MEES, 2018).

## **Les questions irrésolues en lien avec la transition numérique dans l'éducation :**

- Le numérique va-t-il davantage se comporter comme un soutien pour accompagner l'apprentissage ou va-t-il mener à l'usage ouvert des ressources pédagogiques et ainsi supprimer les lieux d'enseignement?
- Comment va évoluer le rôle de l'enseignant dans la création et le partage de ressources?



- Quel rôle aura l'étudiant dans la détermination de son parcours académique si celui-ci se couple à des mécanismes de prédictions et de suggestions?
- Comment responsabiliser les élèves dans leurs usages des technologies en éducation?

## **4. LE DÉVELOPPEMENT DE SCÉNARIOS PROSPECTIFS**

Les ingrédients de la prospective issus du processus de veille et présentés dans le chapitre 3 peuvent désormais être combinés pour concevoir des avenir possibles au Québec en 2040 à l'aide de l'analyse morphologique. Les paramètres utilisés pour l'analyse seront tout d'abord précisés, suivis par le tableau morphologique récapitulatif, et enfin les quatre scénarios contrastés qui en découlent.

### **4.1 Les paramètres du système**

Cette brève section spécifie les paramètres choisis pour l'analyse morphologique.

#### **Le système**

Dans le cadre de cette analyse morphologique, le système étudié est la société québécoise en 2040. L'année 2040 a été choisie comme étant suffisamment proche pour pouvoir dessiner des trajectoires d'évolution crédible et suffisamment éloignée pour prendre en compte des phénomènes de rupture possibles.

#### **Les variables**

Cinq variables structurantes ont été retenues pour l'analyse du système. Il s'agit de :

- La place du numérique dans le système socioéconomique;
- La gouvernance climatique;
- La culture et l'éthique du numérique;
- Le contexte géopolitique des ressources;
- Le travail.

Les variables ont été choisies de manière à capturer l'ensemble des informations pertinentes et à adéquatement les caractériser. Bien qu'elles soient toutes influencées par les deux transitions, trois d'entre elles mettent davantage l'accent sur la transition numérique (la place du numérique dans le système socioéconomique, la culture et l'éthique du numérique, le travail) et les deux autres, sur la transition écologique (la gouvernance climatique et le contexte géopolitique des ressources).

### **4.2 Les hypothèses d'évolution**

Pour chacune des variables identifiées, quatre hypothèses d'évolution ont été élaborées.

#### **4.2.1 La place du numérique dans le système socioéconomique**

La première variable du tableau morphologique envisage plusieurs hypothèses d'évolution autour de l'importance qu'aura le numérique dans le système socioéconomique de la société québécoise en 2040. Variable plus générale par définition, elle sert ici à établir un contexte permettant d'imaginer les dynamiques sociétales et économiques en lien avec le numérique.

Les quatre hypothèses d'évolution pour la place du numérique dans le système socioéconomique sont les suivantes :

**H1. Le numérique éco-efficace de marché :** Les GAFAM deviennent les acteurs centraux dans les principaux secteurs de la société, en remplaçant progressivement les services publics qui ne peuvent plus faire face à la compétition. Les mécanismes d'anticipation prédictive envahissent le quotidien des citoyens, accompagnant chaque choix auquel ils sont confrontés. Les compagnons numériques assistent les humains au quotidien, les aident à mieux comprendre le monde et à se construire eux-mêmes comme sujets. La majeure partie de la croissance démographique est située dans des zones de développement densifiées, où les trajets sont optimisés et connectés. Les nouveaux bâtiments construits sont de type condos connectés, permettant une réduction de la demande globale d'énergie et des gains d'efficacité.

**H2. Le numérique se heurte à des limites non anticipées et crée des tensions sociales:** Les systèmes d'intelligence artificielle sont facilement trompés par des internautes, la voiture autonome ne peut pas être instaurée, car elle ne passe pas les tests de sécurité nécessaires, les systèmes complexifiés vulnérabilisent les structures qu'ils sont censés protéger. Pour des raisons de sécurité du système et de ses usagers, le numérique est contraint à ralentir. De nouvelles applications continuent de se développer, mais le numérique ne devient pas la force motrice que l'on avait anticipée. De fortes tensions se créent entre ceux qui défendent un retour à des technologies anciennes au nom de la sécurité et du contrôle, et ceux qui pensent que les failles actuelles doivent être résolues par davantage d'innovation.

**H3. Le numérique Low-tech:** Le rythme des gains énergétiques du numérique ralentit par rapport à l'explosion des usages, provoquant épuisement des ressources et augmentation du prix de l'énergie dont les sources principales se tarissent à travers le monde. En parallèle, les impacts du numérique sur la santé (addiction, retard, posture, stress) et les relations sociales (estime de soi, vie privée) provoquent un effet bascule sur la vision que les citoyens ont des technologies. La croyance dans le solutionnisme numérique s'essouffle et le mouvement pour une sobriété numérique prend le dessus. L'innovation existe encore, mais elle est orientée vers l'élaboration d'objets facilement réparables et la prise en charge d'infrastructures existantes à transformer (communs négatifs et ingénierie de la fermeture). L'intelligence artificielle évolue dans la frugalité, avec une puissance de calcul faible. Certaines entreprises se mettent au désinvestissement voire à la fermeture après l'analyse de leur position sur les marchés, et de sa non-pérennité économique. La réflexion autour de la technologie suit une hiérarchisation des besoins et répartit la production énergétique en se limitant aux secteurs essentiels.

**H4. Le numérique décentralisé et souverain:** La généralisation de la culture de l'accès ouvert, des données ouvertes, logiciels libres et autres formes de communs numériques fait émerger une économie connectée, collaborative et basée sur les communaux plutôt que sur le marché. La multiplicité d'initiatives

qui émergent grâce à cette emphase sur la culture ouverte réduit considérablement l'emprise des GAFAMS. Dans tous les secteurs, les services offerts sont en permanence mis à jour par les utilisateurs, au bénéfice de la communauté. Cette approche par les communs est renforcée par la souveraineté numérique de la province, qui possède ses propres infrastructures numériques (moteurs de recherche, stockage des données).

#### **4.2.2 La gouvernance climatique**

Les politiques climatiques et les mécanismes en place pour atteindre les objectifs deviendront certainement plus contraignants au fur et à mesure que les impacts environnementaux se feront sentir à travers la planète. La gouvernance climatique du futur pourrait continuer d'être guidée par des accords internationaux qui établissent des cibles de réduction, ou pourrait être menée à une échelle plus locale, au niveau de la province ou des territoires. Cette deuxième variable établit quatre hypothèses sur la manière dont la transition écologique sera chapeautée à l'échelle des pouvoirs publics.

Les quatre hypothèses d'évolutions pour la gouvernance climatique sont les suivantes :

**H1. Gouvernance de marché:** Les mécanismes financiers mis en place par le gouvernement provincial (taxe carbone, subventions aux véhicules moins émetteurs, aides à l'isolation des bâtiments) ainsi que les investissements publics (électrification et multiplication des transports en commun) sont axés sur la réduction d'émission, l'efficacité énergétique et la dématérialisation. Le Québec s'appuie sur une meilleure gestion des matières résiduelles, la séquestration de carbone et l'hydroélectricité pour atteindre ses cibles de réduction de GES. Hydro-Québec devient le pilier de la transition, autour duquel se bâtissent les stratégies gouvernementales. Les efforts pour atteindre les objectifs des accords de Paris accentuent les tensions entre le Québec et les autres provinces.

Le gouvernement provincial vise une réduction des émissions de GES de 37,5% en 2030 par rapport à leur niveau de 1990.

**H2. Accords internationaux pour le climat:** À la suite d'une série de COP préparatoires, une majorité de pays s'est engagée à intégrer un outil numérique permettant d'utiliser des objets connectés et des satellites pour suivre en temps réel les paramètres environnementaux clés: émissions de gaz à effet de serre, érosion, montée du niveau de la mer, état de la biodiversité. L'outil permet à chaque pays de surveiller son avancement par rapport aux cibles fixées, mais aussi d'avoir accès à des opportunités d'amélioration personnalisées.

Les accords internationaux se fixent des cibles d'engagement multicritères et interchangeables. En matière de GES, les recommandations de réduction du GIEC de 80 à 95% en 2050 par rapport à leur niveau de 1990 sont maintenues pour les pays industrialisés. Celles-ci se couplent avec des cibles de préservation et de

restauration de la biodiversité, de prise en charge de la migration climatique, du taux d'acidité des océans et de la montée du niveau de la mer.

**H3. Gouvernance autoritaire provinciale:** Un budget carbone est alloué à chaque individu et chaque entreprise conformément aux objectifs de réduction fixés par le gouvernement, ainsi que des quotas sur le nombre de kilomètres pouvant être parcourus par différents modes de transport. La monnaie papier disparaît pour permettre une traçabilité complète. Le marché est strictement régulé par l'état en fonction de l'impact de chaque produit. Les seuls biens monnayables passent par les services agréés. Les producteurs doivent se soumettre à une multitude de tests. En conséquence, les acteurs de la transition sont les grandes entreprises multinationales qui ont les liquidités nécessaires pour survivre à la rigidité du système, au détriment des petits commerçants et organisations fragiles.

Par l'entremise de mécanismes de contrôle, le gouvernement vise à atteindre la carboneutralité en 2040.

**H4. Gouvernance adaptative locale:** Après la défaillance de l'état pour proposer une réponse adéquate à la problématique environnementale dont les impacts se font sentir dans l'ensemble du pays, les villes ont gagné davantage d'autonomie. Elles ont désormais le droit de définir leurs propres normes en matière de gouvernance climatique et prennent le relai sur l'ensemble des services de première nécessité (alimentation, logement, transport, santé). En conséquence, elles deviennent de véritables locomotives de la transition en expérimentant avec des stratégies innovantes à leur échelle. Certaines villes sont plus durement touchées par les impacts des changements climatiques et sont contraintes à mettre tous leurs moyens dans l'adaptation. D'autres deviennent des pôles d'innovation attractifs aux yeux de la population et des investisseurs et entrent en compétition à l'international.

Les cibles sont établies par les villes et varient selon les fonds disponibles et la capacité de réduction estimée.

#### **4.2.3 La culture et l'éthique du numérique**

Le numérique affecte les normes, les relations sociales et la culture. Pour certains, les changements qu'il apporte sont synonymes de liberté et d'opportunités, pour d'autres il est facteur d'exclusion et de harcèlement. Si l'impact sociétal que le numérique peut avoir dépend en partie de la qualité des services qu'il offre, son intégration dans la société est quant à elle influencée par l'opinion publique.

Les quatre hypothèses d'évolutions pour la culture et l'éthique du numérique sont les suivantes :

**H1. Tensions et dialogues de sourds:** Les réseaux sociaux provoquent l'infobésité et brouillent la distinction entre les sources, rendant la séparation entre sources crédibles et *fake news* presque impossible. La science n'est plus écoutée et il y a davantage de conflits et de débats autour de sujets à impact sociétal.

La société se fragmente en plusieurs bulles, allant des « fan-numériques », aux hors-réseaux en passant par les « numérique-pragmatiques », qui évoluent dans des univers de plus en plus différents, et s'autorenforcent en permanence.

**H2. Usages raisonnés du numérique:** La prise de conscience généralisée de l'intensification de l'épuisement des ressources nécessaires au fonctionnement et à la production des outils numériques relance le débat autour de la consommation sans limites du web. La société a progressivement intégré le fait que pour poursuivre quelques activités numériques, elle devait développer des usages raisonnés. Seuls certains secteurs, jugés essentiels au fonctionnement de la société, peuvent utiliser sans restriction les outils numériques.

**H3. Une IA responsable:** Grâce à d'importantes mobilisations autour de l'IA responsable, les systèmes d'IA intègrent désormais des composantes écologiques et sociales : avant d'être mis sur le marché, les systèmes doivent faire l'objet d'une étude environnementale sur les impacts énergétiques et les effets rebonds potentiels, ils doivent par la suite intégrer une notice explicative sur les données utilisées et les risques de biais, et inclure un système d'appel et une vérification avec audit. L'adaptation proactive au numérique par l'éducation a créé un terreau social favorable à la diffusion des innovations numériques dans tous les secteurs.

**H4. L'IA de masse:** L'IA se démocratise et devient de plus en plus accessible pour l'ensemble de la population à moindre coût. Les parcours éducatifs, les contenus culturels et les informations relayées convergent, par le biais de l'optimisation des recommandations algorithmiques. L'utilisation systématique de modèles prédictifs et d'optimisation par chaque agent décisionnel conduit progressivement à l'homogénéisation des processus et des cultures, au détriment des coutumes et savoir-faire locaux. L'IA accessible et bas de gamme, s'appuyant sur les données du passé, ne tient pas compte des biais historiques et culturels, et de la discrimination qui peut en résulter.

#### **4.2.4 Le contexte géopolitique des ressources**

Les ressources naturelles s'épuisent et pourraient venir à manquer, provoquant par la même occasion des tensions dans un monde en rivalité économique. Le contexte géopolitique dans lequel évoluera le Québec, et son accès aux ressources stratégique pourraient être des éléments déterminants dans ses perspectives d'avenir.

Les quatre hypothèses d'évolutions pour le contexte géopolitique des ressources sont les suivantes :

**H1. Guerre froide 2.0:** La raréfaction des ressources minérales et énergétiques et les pénuries conjoncturelles exacerbent la rivalité entre les superpuissances. Un bloc de pays, sous le *leadership* de la Chine, a su sécuriser son approvisionnement et ont la main mise sur la majorité des ressources nécessaires

au numérique ainsi que sur les déchets numériques. En réaction, une alliance formée par plusieurs pays européens, à laquelle s'est joint le Canada, a lancé un mouvement centré sur les communs et la circularité des ressources pour poursuivre leurs activités.

**H2. Tensions en Arctique:** La Russie, le Canada, les États-Unis et la Norvège ont profité de la fonte des glaces pour sécuriser un accès à de nouvelles ressources dans le cercle arctique (hydrocarbures, poissons, eau douce) afin de renforcer leur position sur les marchés mondiaux. Des tensions internationales et intraétatiques se créent entre les pays qui souhaitent profiter des nouvelles sources d'hydrocarbures pour repousser le pic pétrolier et ceux qui s'y opposent en avertissant que leur exploitation conduirait à un réchauffement climatique accéléré.

**H3. Intégration continentale forcée:** On observe un affaiblissement général des structures internationales et l'émergence de blocs d'intérêts économiques régionaux. Les États-Unis voient leurs ressources naturelles (combustibles fossiles et eau douce) se raréfier et mettent une pression ferme sur les ressources du Québec. Celui-ci est contraint de coopérer et dispose de moins de ressources pour développer le modèle sociétal qu'il désire.

**H4. Intégration continentale choisie:** On observe un affaiblissement des structures internationales et l'émergence de blocs d'intérêts économiques régionaux. Dans le bloc nord-américain, les États-Unis lancent un *Green New Deal* en partenariat avec le Mexique et le Canada axé sur les nouvelles énergies renouvelables et l'économie circulaire. Ayant accueilli les principales industries nord-américaines de démantèlement et de recyclage, le Québec reçoit la plus grande part des déchets numériques pour le réemploi. Cette industrie, jumelée à la disponibilité de son énergie hydroélectrique, offre au Québec un positionnement stratégique dans l'échiquier géopolitique continental.

#### 4.2.5 Le travail

Cette dernière variable exploite différentes hypothèses d'évolution de l'univers du travail au Québec en 2040, en lien avec les transitions numérique et écologique. L'univers du travail a été choisi comme variable car il est plus central aux différentes perspectives d'évolution, mais les univers de la santé et de l'éducation sont également représentés dans les scénarios.

Les quatre hypothèses d'évolutions le travail sont les suivantes :

**H1. Le numérique : cœur de l'économie québécoise:** Le Québec devient un hub majeur pour la recherche et l'innovation. Les grands acteurs du numérique y construisent de plus en plus de bureaux. Le secteur de la technologie grandit et une grande partie de la population y travaille. L'IA est utilisée en ressources humaines pour optimiser l'ambiance au travail. Les services offerts par le numérique deviennent la première source économique de la province. Les emplois moins qualifiés disparaissent au profit de l'autonomisation.

On observe une scission forte entre « gagnants » et « perdants » de cette transition : enrichissement d'une élite sur les nouvelles opportunités, chômage et appauvrissement d'une partie importante de la classe moyenne, populaire et des Premières Nations.

**H2. Le *Care*:** La technologie continue de progresser, mais la société est de plus en plus capable de comprendre ses dangers. Le Québec instaure un mécanisme de régulation pour les entreprises du numérique, en obligeant celles-ci à consulter d'autres acteurs (organisations non gouvernementales (ONG), syndicats, travailleurs) pour les grandes décisions. L'automatisation est modérée et strictement contrôlée en partenariat avec les syndicats pour éviter une montée du chômage. Le revenu disponible et les ressources prioritaires, dont les métaux stratégiques et l'énergie, sont consacrés à des secteurs en lien avec le *care* (« prendre soin » en anglais) comme l'éducation, les soins et le divertissement.

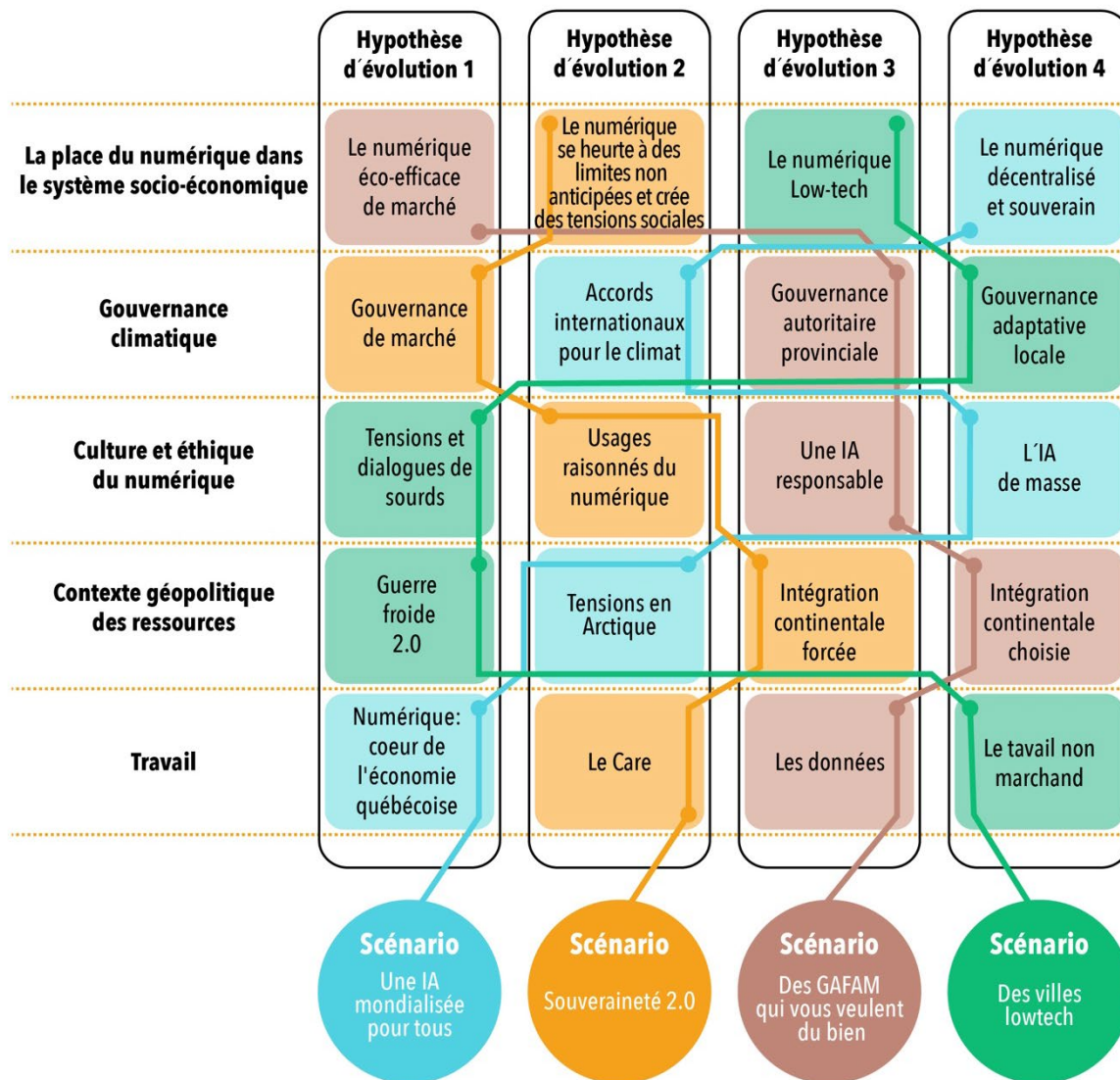
**H3. Les données:** Le monde du travail est basé sur l'hyper surveillance; la multiplication de capteurs permet aux compagnies de créer de la valeur à partir des données individuelles et d'analyser plus d'information sur les objets, les gens et l'environnement. On observe une augmentation du travail à la demande et du statut de travailleur autonome. Un système de notation individuelle se déploie et prend le dessus dans le monde du travail et dans les relations personnelles. Les défenseurs trouvent que c'est un aboutissement du système méritocratique. Ils apprécient également la personnalisation de services offerts grâce à la collecte d'informations (bixi, opus, GPS). D'autres trouvent ça trop invasif, compétitif et dénoncent une certaine déshumanisation de la société.

**H4. Le travail non marchand:** Le mouvement de la sobriété volontaire prend de l'importance au Québec et entraîne une réflexion sociétale autour de l'approche au travail. Les plateformes numériques collaboratives ont démultiplié les lieux de partage et permettent une réduction du temps de travail par l'optimisation des ressources. L'importance donnée au travail non marchand augmente significativement au détriment du travail marchand. Les citoyens s'intéressent à l'autosuffisance alimentaire, réparent leurs objets et s'échangent des services par le biais de plateformes collaboratives numériques. Une semaine de travail habituelle ne dépasse pas les 12h et ne sert à payer quelques services marchands qui restent.



### 4.3 Le tableau morphologique

Les hypothèses élaborées dans la section 4.2 peuvent être regroupées dans un tableau morphologique afin d'illustrer la décomposition du système étudié. En suivant la méthode détaillée dans le chapitre 2, les hypothèses sont ensuite combinées entre elles pour former la base de scénarios prospectifs. Le tableau morphologique illustré par la figure 4.1 reprend l'ensemble de ces éléments.



**Figure 4.1** Tableau morphologique (tiré de: Chemins de transition, sous presse)

On y voit apparaître les variables structurantes ainsi que les hypothèses d'évolution pour chacune d'entre elles. Les hypothèses sont combinées par couleur pour donner lieu à quatre scénarios prospectifs.

## 4.4 Les scénarios

Les quatre scénarios contrastés dérivés du tableau morphologique ont été rédigés de manière littéraire et accessible pour faciliter leur appropriation. Chaque scénario présenté est complété par un récapitulatif des éléments contenus, ainsi qu'une explication de la trame.

### 4.4.1 Des GAFAM qui vous veulent du bien

31 MAI 2040. Myriam se fait réveiller par l'odeur du café fraîchement torréfié par Mike, son compagnon numérique Microsoft. En lui donnant sa tasse, Mike l'informe :

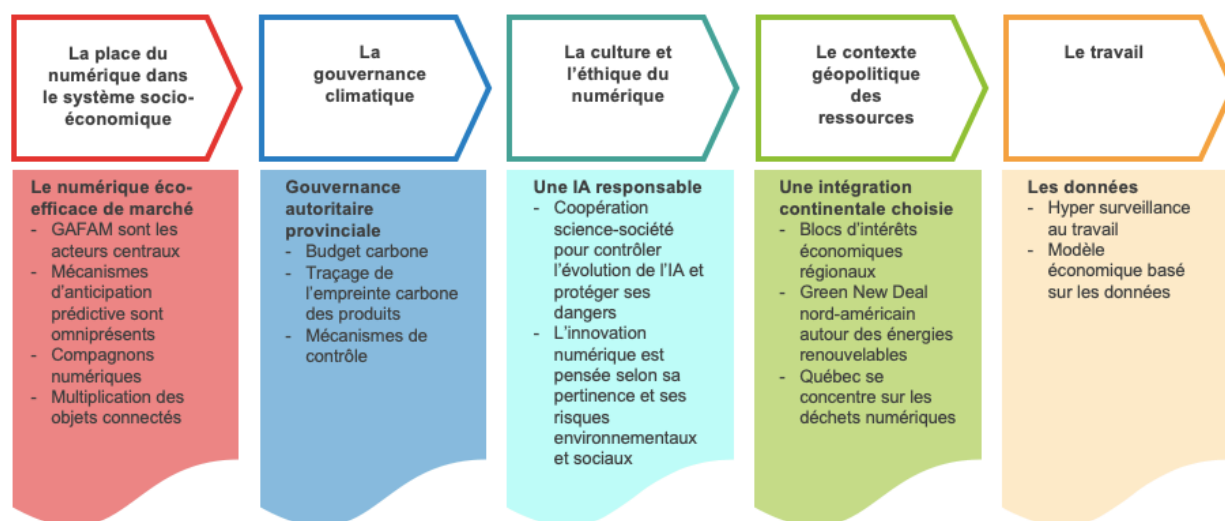
- Cet expresso a réduit ton budget carbone à 37,8g équivalant CO<sub>2</sub> jusqu'à lundi. Mais la température extérieure est excellente, peut-être pourrais-tu aller au travail à vélo pour compenser cet impact environnemental?
- Merci, Mike, qu'est-ce que je ferais sans toi... Peux-tu me donner mon programme de la journée pendant que je mange en vitesse?
- Certainement chère amie. Je te propose de terminer ta formation de gestion de conflit en entreprise de 8h-10h55, et de poursuivre avec l'évaluation annuelle de Félix à 11h. Et comme tu aimes la lecture en après-midi, je te recommande la nouvelle étude « Optimiser l'ambiance au travail par les algorithmes » à compter de 13h.

Véritable GPS de vie, les activités proposées par Mike sont recalibrées en continu pour que Myriam ait les meilleures chances d'atteindre son objectif principal de devenir DRH de son entreprise d'ici la fin 2041, fier leader québécois du marché nord-américain de réemploi du matériel informatique.

Écologiste de la première heure, Myriam accueille très favorablement les changements drastiques imposés par le gouvernement depuis 2030. D'abord suspicieuse lorsque l'État a accordé aux GAFAM un accès privilégié aux ressources naturelles et à l'énergie, de plus en plus rare, elle doit avouer que ce partenariat public-privé a rempli ses promesses. Il a permis d'améliorer grandement l'éco-efficacité des petits et grands gestes du quotidien, tout en assurant une équité dans la répartition de l'effort. Elle et Maxime faisaient même partie des premiers Québécois à intégrer des objets connectés à la maison pour suivre en temps réel leur empreinte environnementale. Cependant, depuis leur séparation tumultueuse, Myriam traverse une phase de remise en question. Lors d'une discussion avec sa collègue Chloé dans les toilettes de l'entreprise, exemptes de reconnaissance faciale, Myriam fond en larme. Le contrôle systématique de chaque décision et l'accompagnement personnalisé de sa performance lui apparaissent maintenant intrusifs et insupportables.

- Est-ce que ça t'arrive de te demander si on est allés trop loin, toi? Penses-tu qu'un retour en arrière soit possible? J'ai plus vraiment l'impression d'être aux commandes de ma vie.
- Oui ça m'arrive d'avoir des doutes, c'est sûr. Mais bon... il faut avouer qu'on n'aurait jamais été capables de faire autant d'efforts sans l'optimisation des décisions. Le système est bien fait, et il est parti pour rester. Mais si tu as besoin de penser à autre chose ce soir, viens avec moi; on m'a invitée à un buffet de viande et de fruits exotiques organisé par les *Oil Angels* de Lanaudière...

À nouveau seule, elle se tourne vers Mike qui a décodé dans le non verbal de Myriam son désir d'accepter cette invitation. En mode crypté, il lui affiche les risques associés à ce comportement illégal. En réponse à la moue de Myriam, Mike l'informe du meilleur transport collectif pour s'y rendre et lui recommande de le mémoriser, puis de le déconnecter d'ici à son retour afin d'éviter que ses données, remontées en continu aux GAFAM, ne puissent lui causer problème.



**Figure 4.2 Composition du premier scénario prospectif**

Ce premier scénario, résumé par la figure 4.2, illustre une société québécoise de contrôle, chapeautée par le gouvernement provincial à l'aide d'outils numériques omniprésents, notamment dans les habitations et le travail. L'État fait de l'éco-efficacité un des principes clés régissant toutes les interactions et décisions individuelles. Pour s'assurer que la population suive les trajectoires conçues, une multitude d'objets connectés équipe les foyers. Les GAFAM ont progressivement remplacé les services publics dans les secteurs clés de la société, et forment un partenariat avec un état fort. À cause de la raréfaction des ressources et de l'énergie qui touche tous les secteurs, les GAFAM ont mis de la pression sur l'État pour que celui-ci mette en place des quotas de production et de consommation afin de ne pas se faire dépasser par d'autres acteurs économiques. Ces quotas sont surveillés de très près par des mécanismes de régulation et d'anticipation prédictive généralisée. Les citoyens ont accepté une restriction de leurs libertés, au nom

de l'absence d'alternative face à la catastrophe environnementale et de l'aspect responsable de l'intelligence artificielle diffusée. Les compagnons numériques assistent chaque foyer et les systèmes d'intelligence artificielle aident à la décision, notamment en fonction de l'impact carbone généré. L'hypersurveillance et la prohibition de certains comportements favorisent toutefois l'émergence de comportements déviants. Le crime organisé a développé une économie souterraine sur les produits sur les produits prohibés.

#### 4.4.2 Souveraineté 2.0

31 décembre 2039. L'heure est à la fête chez les Desjardins. Comme dans chaque réunion familiale, on profite de l'occasion pour célébrer sa fierté d'être Québécois :

- Les Américains n'ont rien compris, ils continuent de travailler comme des fous pour se payer leur bonheur préfabriqué et leur « digital way of life » qui ne mène à rien. Ils me font de la peine...
- Regarde-la qui s'apitoie sur leur sort! C'est quand même sur notre dos qu'ils réussissent à continuer à consommer comme on faisait dans le temps... si c'était pas de notre Hydro-Québec et des gentils petits Québécois qui ont su préserver leur eau et bien utiliser leurs ressources, il partirait vite en fumée leur fameux bonheur!
- Mon voisin a entendu dire que dans les autres blocs continentaux aussi ça se passait comme ça : eu Europe, en Asie, en Amérique du Sud... la loi du plus fort, c'est vieux comme le monde...
- Papa, tu ne dis rien?

Benoit, patriarche de la famille, est habituellement le premier à vanter ce Québec « qui a le cœur à la bonne place », et qui a su « se serrer la ceinture là où il faut pour garder son système de santé et d'éducation populaire et à la fine pointe de la technologie »! Aujourd'hui, il ne sait plus si sa chère province a les moyens de ses valeurs. D'abord déçu que le gouvernement suive la recommandation du Collège des médecins d'intégrer le *Great US Disease Detection Center* (US-DDC) il y a 3 ans, il a dû reconnaître que ce système d'intelligence artificielle, beaucoup plus puissant et moins coûteux que le québécois, a déjà sauvé des milliers de vies.

Mais, depuis la fermeture de la dernière compagnie d'assurance locale le mois dernier, Benoit craint le pire. Tous les assureurs disponibles dans le bloc nord-américain ont refusé son dossier, prétextant qu'il présente des risques trop élevés, alors même que le bilan médical envoyé par son assureur précédent était excellent. Un ancien collègue vient de lui confirmer ses doutes : les prédictions médicales du US-DDC sont partagées à plusieurs multinationales liées à la santé, qui subventionnent fortement le système en retour.

Benoit est fortement ébranlé par la nouvelle. Il a été un des principaux architectes de la « Grande transformation » de 2028, qui a concentré toute la capacité numérique de la province dans certains secteurs et usages clés pour l'économie locale et le bien-être des Québécois. En plus de permettre une réduction

drastique de la consommation d'énergie et de métaux, critique pour l'atteinte des objectifs 2030 d'émission de gaz à effet de serre et d'économie circulaire de la province, cette stratégie nationale répondait aux préoccupations croissantes de la population par rapport à l'industrie numérique. Après les nombreux scandales de confidentialité des données et de *fake news* des années 2020, la population a accepté de restreindre la majorité de ses usages, au travail comme dans ses loisirs, afin de continuer à profiter de la présence technologique dans des secteurs où elle pourrait être convenablement encadrée.

Mais aujourd'hui, Benoit se remémore le discours de ses opposants de l'époque, qui affirmaient que cette stratégie de concentration des usages ne suffirait pas contre les géants du numérique d'à côté. Souhaitant garder pour lui ses réflexions de trouble-fête, il se ressert un verre de son fameux cidre, et porte un toast à cette nouvelle décennie à venir.



**Figure 4.3 Composition du deuxième scénario prospectif**

Souveraineté 2.0 met en scène un Québec qui s'est concentré sur le déploiement d'un modèle social-démocrate de la sobriété. Comme cela est schématisé sur la figure 4.3, la prolifération du numérique a dû être ralentie pour des questions de sécurité des réseaux et des usagers, et ses secteurs d'application sont choisis avec attention. Après de nombreux scandales, notamment liés à la confidentialité, les biais et la transparence des données, la population a accepté de devoir réguler ses usages afin de continuer de profiter de la présence technologique dans certains secteurs clés où elle est convenablement encadrée. Le Québec met l'accent sur le *care*, en voulant continuer d'offrir des services de santé, d'éducation, et de protection des droits à sa population. Cependant, ces services peinent à être efficace, faute de moyens. En effet, les ressources dont dispose la province sont en grande partie acheminées vers les États-Unis qui dictent leur loi en Amérique du Nord à coup de taxes, de sanctions économiques, mais aussi à travers la performance de leurs entreprises numériques dont peu de pays sont en mesure de se passer. On observe un affaiblissement

des structures internationales et l'émergence de blocs d'intérêts économiques régionaux. Des tensions subsistent entre le modèle mis en avant par le Québec et celui en place dans les autres provinces et aux États-Unis.

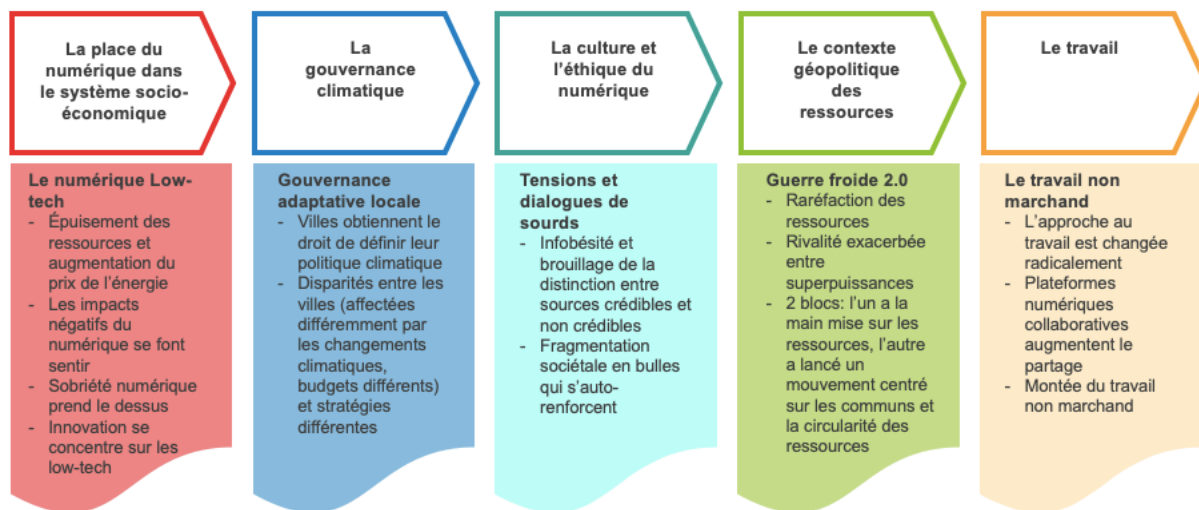
#### 4.4.3 Des villes low-tech

Cher.es municitoien.es,

Je vous informe en toute vérité que je vais me présenter pour un deuxième mandat à la Mairie. Jamais une élection n'a été aussi importante au pays que celle qui s'en vient. Le mandat précédent a été entièrement dominé par l'adoption précipitée de la loi de décentralisation climatique : miné par la répétition des événements catastrophiques et des pénuries de ressources et d'énergie, le gouvernement provincial a finalement cédé à nos appels à déléguer la gouvernance climatique à l'échelle locale, beaucoup plus efficace et rassurante pour nous tous. Cette délégation majeure de pouvoir s'est faite avec beaucoup trop d'improvisation, j'en conviens. Mais grâce à la combinaison de notre force collaborative, des ressources *technodouces* que nous avons su retracer en sûreté dans l'*archéoweb*, de la mine urbaine de matériaux et du foncier recyclable de notre communauté, nous pouvons envisager plus sereinement un avenir fait de sobriété heureuse.

Bien sûr, votre participation volontaire à nos circuits locaux de production alimentaire, réemploi, réparation de biens et maintenance des équipements collectifs a pu apparaître au début comme un retour à la corvée du temps ancien. Mais avouez combien maintenant vous ressentez de fierté à voir concrètement le fruit de vos efforts, plutôt que d'être rémunéré dans l'une de ces *cryptomonnaies* dont la valeur ne fait que fluctuer?

Mon deuxième mandat sera entièrement consacré à l'obtention du label international *Écolowtech Development Cities*, qui nous donnera accès aux fonds internationaux écoresponsables nous permettant de desserrer un peu l'étreinte des pénuries. C'est sûr, nous ne sommes ni Montréal ni Québec, qui ont eu beaucoup plus vite les ressources et l'expertise nécessaire pour réaliser le tournant vers des infrastructures numériques souveraines qui les ont mis à l'abri des principales attaques cybercriminelles. Mais n'est-ce pas un peu ringard à l'aune de nos nouvelles valeurs québécoises? De plus si ces métropoles ont pu garder la 5G, voyez combien cela suscite de troubles entre les conservateurs qui continuent à défendre cette chimère du tout numérique sobre, et les révolutionnaires qui veulent revenir à l'analogique intégral? Et que dire de tous ces pauvres citadins fuyant ces grandes villes qui ne respectent plus leur vie privée au nom du maintien d'une sécurité publique, toujours plus difficile à assurer dans ce contexte de tension sociale perpétuelle? Et que dire de la pandémie de souffrances mentales, addiction à la réalité virtuelle, stress du retour au réel et perte d'estime de soi dont les grandes villes ont été l'épicentre ces dernières années? Nous, nous n'avons que la 3G, mais au moins elle nous tient tricotés serrés et en santé! Continuons tous ensemble!



**Figure 4.4 Composition du troisième scénario prospectif**

Le troisième scénario offre une projection à l'échelle du territoire dans un monde où la sobriété numérique a pris le dessus. L'ensemble des éléments qui le composent est regroupé dans la figure 4.4. Après la défaillance de l'état à proposer une réponse adéquate aux changements climatiques qui ont de plus en plus affecté la province, les villes prennent le relai pour assurer une gouvernance climatique. Par nécessité (manque de ressources, forts impacts subis) ou par volonté de miser sur une plus grande résilience, la majorité des régions québécoises adoptent une approche *low-tech*. Les industries sont encadrées pour fermer définitivement leurs activités les plus énergivores et réorienter les employés concernés. Cependant, bon nombre de citoyens trouvent la vie plus paisible en région: les plateformes collaboratives ont permis de réduire les dépenses inutiles et d'augmenter le partage. En conséquence, le travail non marchand se développe et devient majoritaire. Seules Montréal et Québec restent des îlots centrés sur le développement technologique high-tech, et attirent investisseurs et alliances à l'international. Mais le numérique est source de tension sociale forte au sein des métropoles. Elles opposent les fervents du numérique sobre et ceux qui affirment que l'existence même du numérique contraint la population à rester dans une trajectoire destructrice. On observe également des tensions entre les territoires qui sont affectés différemment par les changements climatiques, et qui n'ont pas tous les mêmes moyens d'y faire face.

#### 4.4.4 Une IA mondialisée pour tous

8 Janvier 2040, 8h50. Léa se met au travail : « Erreur 417 – votre plateforme numérique a un *NeighbourScore* de 5 ou moins. Elle a été déconnectée en vertu du nouveau Plan de Sauvegarde de l'Énergie (PSE) ». La plateforme éducative de Léa, qui personnalise le programme selon le profil des élèves à partir d'un catalogue de cours international, n'en est pas à sa première chute de *NeighbourScore*, cet indice de popularité qui guide en continu les choix des individus et organisations. Comme tout programmeur, elle a appris à y faire face : les outils numériques qui peuplent les foyers et les organisations québécoises sont basés sur une intelligence artificielle « bon marché » si accessible à tous... mais très peu résilients.

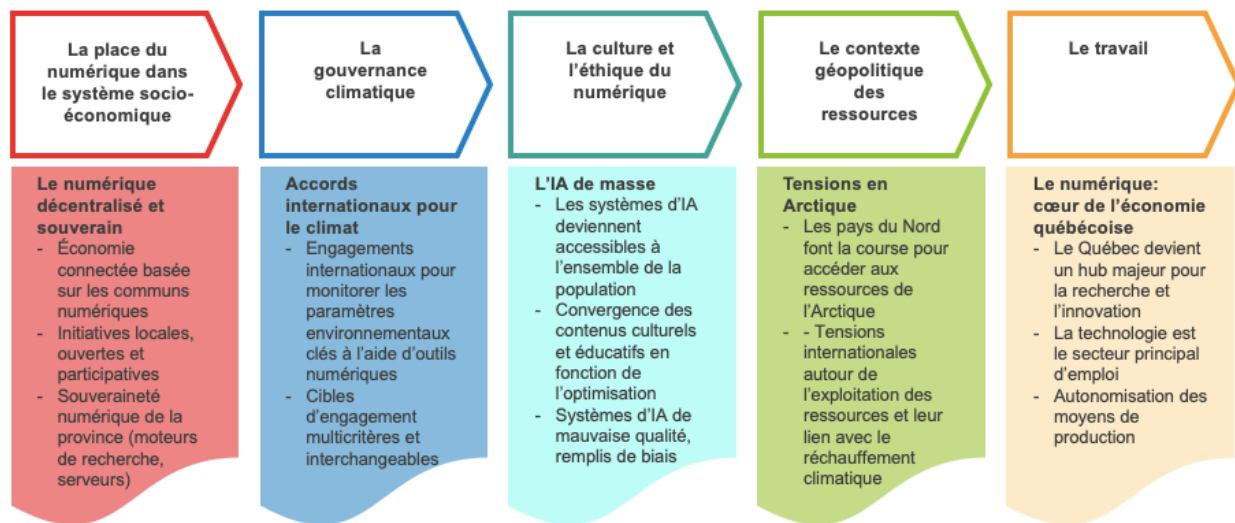
- Salut Max, c'est Léa. Tu pourrais me dépanner encore une fois pour remonter mon *NeighbourScore*?
- Encore un hacker qui s'en est pris à tes *users*?
- Non, tu as vu le *world fake news* d'hier? Il a été introduit dans le tronc commun d'apprentissage, donc cette information ridicule a été transmise à l'ensemble de mes élèves... comme ceux de 30 pays différents d'ailleurs. Ma cote de popularité est passée à 2.6 hier soir, donc le gouvernement m'a coupé sur-le-champ par son nouveau Plan de Sauvegarde de l'Énergie.
- Désolé, je ne peux pas t'aider cette fois : lorsque le gouvernement déconnecte un programme dans le cadre du PSE, maintenant c'est définitif! On m'a dit qu'il a récemment renforcé ce plan pour faire bonne figure à l'échelle internationale. Il espère ainsi calmer le jeu auprès des pays mécontents de l'ascension canadienne dans la course aux énergies fossiles en Arctique. Je comprends que tu sois déçue, mais sans cette nouvelle source énergie, c'est toute notre industrie numérique qui est en jeu. T'imagines? C'est pas seulement le principal moteur économique du Québec, c'est aussi la base de tous les services à la communauté!

Léa est sous le choc : cinq années de travail acharné sur sa plateforme réduites à néant! Elle se connecte à la communauté Programmeurs.engagés, berceau de l'innovation québécoise, dans l'espoir de trouver du réconfort auprès de ses pairs. Mais elle se laisse vite prendre au jeu d'explorer leurs idées foisonnantes pour un numérique au service de tous : frigos collectifs connectés, plateforme de redistribution des objets usagés, partage des espaces et infrastructures sous-utilisées, gestion optimale des stocks d'ONR (Organismes Naturels Restants) ...

Trois heures plus tard, Léa a retrouvé toute sa fougue : elle vient de s'associer à une nouvelle coop qui offrira un programme de formation aux chômeurs orienté selon les besoins du marché, évalués en continu par le gouvernement. Léa est fière de supporter cette cause : le chômage est un véritable fléau pour sa famille, ses amis et voisins. Il faut dire que les emplois se font rares dans cette province qui a automatisé 60% des métiers en deux décennies et doit accueillir toujours plus de réfugiés climatiques pour compenser l'augmentation continue de ses gaz à effet de serre. Et avec toutes ces catastrophes naturelles et pandémies



qui se succèdent, le gouvernement peine à leur assurer un filet social. Heureusement, la solidarité est plus forte que jamais, et les plateformes collaboratives sont là pour tisser le Québec serré!



**Figure 4.5 Composition du quatrième scénario prospectif**

Le quatrième scénario, résumé par la figure 4.5, met en scène un Québec qui a misé sur la multiplication des systèmes d'IA et d'objets connectés, dans un contexte géopolitique de course aux ressources stratégiques. Les mouvements des données ouvertes se sont multipliés au profit d'une multiplicité de projets locaux de communs numériques, affaiblissant progressivement l'emprise des GAFAMS dans l'ensemble des secteurs. Le Québec s'est doté de ses propres infrastructures numériques et désire s'illustrer en tant que hub d'innovation responsable sur la scène internationale. Les moyens de production ont été largement automatisés et la technologie devient la principale source économique. Pour suivre en temps réel les impacts des changements climatiques et les opportunités de réduction des émissions à toutes les échelles de la société, de nombreux appareils connectés équipent les différents foyers. Or, ce déploiement rapide de l'IA bon marché entraîne de nombreux problèmes sociétaux (perte de l'autonomie, addiction, standardisation des décisions, homogénéisation des cultures vers un modèle unique international et accroissement des inégalités). Le modèle développé prône l'équipement technologique systématique et renforce le désir de l'ensemble de la population d'avoir les appareils les plus récents possible. La demande sous-jacente en ressources et en énergie se heurte aux pénuries de plus en plus généralisées. Pour continuer à assurer son approvisionnement, le Canada s'impose dans la course à l'exploitation de l'Arctique.

#### **4.5 S'emparer des scénarios**

Les scénarios prospectifs développés dans ce chapitre n'ont pas vocation à être prédictifs; mais visent plutôt à provoquer une réflexion collective autour des avenir possibles pour la société québécoise. Il est certain que d'autres combinaisons d'hypothèses auraient pu être effectuées, conduisant à des projections d'avenir différentes. Néanmoins, en développant les contrastes entre chaque hypothèse, l'analyse morphologique permet d'étendre les balises pour tenter de capturer l'étendue des avenir possibles au sens large.

Penser l'avenir est une tâche difficile, tant il faut être en mesure de distinguer les tendances durables des événements ponctuels, peu prévisibles, et dont les effets peuvent bouleverser un système entier. C'est en cela que l'exercice prospectif est pertinent, car il permet de se projeter dans un univers complètement différent pour penser les problématiques de demain, afin de les anticiper au mieux et de ne pas les subir de plein fouet. Comme le soulignait le philosophe Karl Popper, « la pensée a ceci de supérieur à la sélection naturelle qu'elle permet d'envoyer ses hypothèses mourir à sa place. » (Popper, 2001, p. 146). Penser à des situations hypothétiques permet d'en imaginer les conséquences et de prendre de meilleures décisions présentes. Penser l'ensemble des trajectoires possibles permet d'augmenter ses chances de s'adapter et de rendre la transition plus agréable pour tous les acteurs.

Les scénarios prospectifs illustrent les futurs possibles, et doivent servir de bases de réflexions collectives et inclusives autour des perspectives d'avenir qui nous semblent souhaitables, et de celles qui nous paraissent redoutables. C'est par l'identification de futurs possibles et désirables pour sa population que la société québécoise sera en mesure de s'approprier sa propre transition.

## **5. RECOMMANDATIONS**

Les chapitres précédents présentent un résumé des enjeux liés aux transitions numérique et écologique. À cet effet, le chapitre 3 a permis de mieux comprendre comment ces transitions s'articulent actuellement, et la manière dont elles pourraient évoluer à l'avenir en étudiant une diversité de tendances et de signaux faibles. L'exercice prospectif contenu dans le chapitre 4 a ensuite illustré quatre manières dont le Québec pourrait concilier les deux transitions à l'horizon 2040. En se basant sur une meilleure compréhension des enjeux et les projections de futurs possibles, ce chapitre propose d'émettre des recommandations à l'égard des acteurs de la transition au Québec.

### **5.1 Inclure les citoyens dans les discussions**

Les scénarios prospectifs développés devraient être utilisés comme élément déclencheur de discussions multisectorielles et multiacteurs autour de l'avenir de la société québécoise. Au-delà des trajectoires possibles, il est en effet important d'identifier clairement quels éléments des scénarios sont souhaitables et lesquels sont redoutables. Les scénarios contrastés sont un point de départ idéal pour favoriser la collaboration créative en permettant aux participants de se détacher des paradigmes qu'ils connaissent pour se projeter dans le monde de demain. D'un point de vue sociétal, l'intégration de l'opinion publique sur les futurs souhaitables est primordiale pour deux raisons. Premièrement, la consultation des acteurs concernés est une pratique essentielle dans le développement d'un projet à grande échelle, car elle permet une plus grande compréhension de la manière dont les différentes parties prenantes peuvent en être affectées, et ainsi enrichir la réflexion et diminuer le risque d'oubli majeurs. Deuxièmement, la transition se fait en grande partie sur le terrain et l'implication des citoyens en amont permet une plus grande mobilisation des acteurs pour maximiser les chances que les changements soient compris, acceptés et se réalisent en pratique. Pour la transition numérique, si des décisions gouvernementales sont prises en matière de régulation des usages et de la production de périphériques, celles-ci devront être comprises et acceptées par l'ensemble des citoyens au préalable pour aboutir à des changements significatifs.

### **5.2 Tracer des chemins concrets**

Une fois les futurs possibles, souhaitables et redoutables identifiés, il est important d'imaginer des chemins qui retracent les étapes intermédiaires nécessaires pour se rendre du contexte présent à celui visé. Pour être pertinents et plus facilement appropriables, ces chemins devraient identifier les secteurs de changement, les parties prenantes concernées, ainsi que des horizons temporels précis, de sorte que des plans de route puissent en découler.

### **5.3 Intégrer les limites planétaires dans les chemins**

Comme il a été montré dans le chapitre 3, les trajectoires que suivent le numérique ne sont pour le moment pas soutenables sur le long terme. Les besoins croissants en énergie et en métaux provoqueront des problèmes majeurs à la fois sur le plan des ressources et sur le climat si rien n'est fait pour inverser la tendance. Les trajectoires d'évolution de la province, notamment celles qui comptent en partie sur la transition numérique, devraient donc faire l'objet d'une quantification de la demande équivalente en énergie et en ressources afin d'évaluer la possibilité physique même de leur déploiement. Si le Québec ne peut pas se permettre les ressources matérielles et énergétiques que les trajectoires représentent, alors il est impératif de les repenser en fonction des limites planétaires qui ne sont, jusqu'à preuve du contraire, pas négociables.

### **5.4 Davantage encadrer la collecte et l'utilisation des données personnelles**

Les données collectées en permanence génèrent d'importantes préoccupations éthiques, notamment concernant le respect de la vie privée, la reproduction de biais et le manque de transparence des systèmes qui les utilisent. Dans certains cas, les données peuvent aider à faire avancer la transition, comme lorsqu'elles permettent d'informer et de suivre la progression vis-à-vis des cibles climatiques. Cependant, leur caractère intemporel et la grande incertitude sur les usages futurs renforcent la nécessité d'instaurer un cadre légal plus réglementé autour de la collecte et de l'utilisation des données. Il paraît nécessaire de légiférer dans le sens d'une plus grande transparence des mécanismes utilisés et d'un plus grand contrôle des utilisateurs sur les données qui leur appartiennent, y compris *a posteriori*. La sécurisation des données est aussi très fortement liée à la question de la souveraineté numérique. La transition numérique est extrêmement rapide et il semblerait pertinent dès aujourd'hui de développer des initiatives locales pour ne pas, à l'avenir, subir la pression et dépendre d'intérêts étrangers dans des domaines stratégiques comme la santé, l'éducation, le travail ou encore le transport.

### **5.5 Changer de discours dominant**

Jusqu'à présent, le discours dominant a toujours été d'adapter les tendances actuelles pour faire mieux. Or, il est désormais clair que le discours de l'amélioration, bien que souvent porté par de bonnes intentions, n'est pas à la mesure de l'envergure des changements nécessaires. Les trajectoires d'évolution du secteur montrent que les gains relatifs d'efficacité énergétique ne suffiront pas à pallier la multiplication des périphériques et des usages de la transition numérique. L'innovation technologique ne peut plus se permettre d'être instinctive et doit, à l'inverse, commencer à être réfléchie en intégrant les perspectives d'épuisement de ressource et d'émissions de GES au sein même de son développement à court-terme.

## **5.6 Prendre la mesure de la place du Québec**

Enfin, il est important d'envisager l'avenir en considérant la position particulière du Québec. Par rapport aux transitions numérique et écologique, le Québec a une place singulière à deux égards. D'une part la province dispose d'importantes ressources, notamment hydriques, qui lui ont permis de développer un parc d'hydroélectricité performant et de subvenir aux besoins domestiques en eau fraîche. De source renouvelable, l'hydroélectricité pourrait continuer d'être un atout majeur pour l'approvisionnement en électricité du Québec. Cet atout énergétique pourrait s'avérer d'autant plus stratégique si les tendances à l'électrification perdurent. Cependant, cette force pourrait également se transformer en faiblesse si d'autres acteurs régionaux venaient à convoiter les ressources de la province. En effet, les tensions hydriques déjà ressenties dans certaines régions des États-Unis ainsi que les besoins futurs en énergie décarbonée pourraient inciter le pays, ou les grands acteurs du numérique, à exercer une pression sur les ressources du Québec, compromettant ainsi ses propres perspectives de transition. D'autre part, dans un monde où les acteurs dominants semblent s'éloigner des structures mondialisées fortes et se rapprocher de regroupements continentaux, il semble important d'anticiper le rôle que pourra jouer le Québec, et plus largement le Canada. Définir quels chemins sont souhaitables à l'échelle de la province est nécessaire, mais il faut également anticiper de quelle manière le Québec pourra en assurer l'approvisionnement dans un contexte géopolitique différent. Si elle a pour le moment des marges de manœuvre importantes en matière de transition numérique et écologique, les choix de la province pourraient à l'avenir être davantage contraints par ceux de ses partenaires commerciaux et des pays limitrophes.

## **6. LIMITES**

Ce travail s'inscrit dans une production de fin d'études, mais son contenu pourrait être utilisé en dehors du contexte universitaire, pour alimenter la réflexion autour de la transition au Québec. C'est pourquoi il convient de rendre explicites certaines limites auxquelles cet essai s'expose.

### **6.1 Des changements à mi-parcours**

La rédaction de cet essai a connu des modifications importantes, imposées par le cours des événements extérieurs. L'essai devait initialement couvrir les trajectoires d'évolution possibles pour la société québécoise, mais également inclure un volet sur l'aspect souhaitable et redoutable des différents éléments. Ce volet devait être une synthèse de discussions collectives auxquelles participerait un grand nombre de parties prenantes sur ce que représente un futur souhaitable pour le Québec. Afin de collecter les informations nécessaires pour traiter ce volet, des ateliers de co-design avaient été organisés dans le cadre du projet Chemins de transition pour le début du mois d'avril. Les participants inscrits avaient été ciblés pour représenter une diversité de profils, d'expertise et d'intérêt. Cependant, au mois de mars 2020, le gouvernement provincial a instauré des mesures visant à ralentir la propagation du virus COVID-19, dont l'annulation des regroupements physiques. Ce faisant, la réflexion normative issue des délibérations collaboratives n'a pas pu être incluse dans ce travail qui a ainsi connu une restructuration majeure.

### **6.2 Une veille non exhaustive**

Les thèmes de la transition écologique et de la transition numérique sont des sujets multisectoriels, complexes et en constante évolution. C'est pourquoi la veille réalisée dans le cadre de cet essai n'est pas exhaustive, dans la mesure où elle a été soumise à des contraintes de temps et de moyens. Par conséquent, d'autres angles auraient pu et pourraient à l'avenir être abordés, tels que les conséquences sociales de l'exploitation des métaux sur les populations locales, l'exportation d'émissions de gaz à effet de serre à l'étranger, ou encore l'impact des systèmes d'intelligence artificielle sur la démocratie. En outre, davantage de témoignages auraient également pu être récoltés, provenant d'experts dans d'autres domaines, mais aussi de la part de personnes en dehors du milieu académique, dont les réalités sont généralement moins représentées dans la littérature. Des travaux complémentaires sont encouragés en ce sens.

## CONCLUSION

Tout bien considéré, cet essai a su répondre à l'ensemble des objectifs établis initialement. L'objectif principal de cet essai constituait à évaluer les trajectoires d'évolution possibles au Québec pour concilier transition numérique et transition écologique à l'horizon 2040. Le premier chapitre présente en détail ces deux transitions. Tout d'abord, la transition numérique apparaît comme une force majeure de changement de nos sociétés, bouleversant nos quotidiens sur les plans individuels et collectifs : du téléphone intelligent qui gère nos moyens de communication et surveille notre santé, au télétravail en passant par l'intégration de l'intelligence artificielle pour l'aide aux diagnostics médicaux, il est difficile de s'imaginer l'avenir autrement que connecté. Cependant, si cette multiplication de périphériques et d'usages augmente l'importance du numérique dans nos quotidiens, elle entraîne aussi une explosion de sa facture environnementale. Les plans de déploiement des technologies numériques d'envergure, tels que l'installation de la 5G ou la création de villes connectées, s'accompagneraient d'une hausse de la demande en énergie, en ressources et en émissions de gaz à effet de serre, au moment même où la transition écologique demanderait des efforts drastiques pour les faire diminuer. Par ailleurs, l'accélération des changements climatiques, l'effondrement de la biodiversité et l'épuisement des ressources naturelles causés par les activités anthropiques représentent une menace directe pour les conditions qui permettent la vie sur Terre. L'ampleur de la catastrophe environnementale qui se profile nécessite d'anticiper collectivement une transition écologique au cours des prochaines décennies. Ainsi, la transition numérique se démarque comme une force de changement sociétal qui progresse sans objectif clair, alors que la transition écologique apparaît comme une finalité essentielle sans chemin évident pour y parvenir. Au cours des vingt prochaines années, le Québec n'aura certainement pas d'autre choix que de trouver une façon de concilier ces deux transitions.

Après une explication détaillée de la méthodologie au deuxième chapitre, le troisième chapitre offre une synthèse des ingrédients de la prospective, réparties en trois axes transversaux et trois univers sociétaux. Ce chapitre permet de dresser un portrait systémique de la situation de départ, d'identifier les tendances évolutives majoritaires, les signaux faibles et les questions qui font encore débat dans la littérature. À partir de ces éléments, cinq variables structurantes ont été identifiées et quatre hypothèses ont été développées pour chacune d'entre elles au sein du quatrième chapitre. Une fois assemblées dans un tableau morphologique, les hypothèses ont servi de point de départ pour l'élaboration de quatre scénarios contrastés en suivant la méthode de l'analyse prospective. Les scénarios permettent de se projeter en 2040 dans des mondes radicalement différents avec l'objectif de capturer l'étendue des trajectoires possibles. Cet exercice prospectif établi sur une base scientifique permet de dégager une série de recommandations au chapitre cinq pour amorcer la démarche d'une convergence entre les deux transitions au Québec. Tout d'abord, il est recommandé de se servir du présent travail pour nourrir des arènes de discussion multidisciplinaires et

multiacteurs autour des futurs possibles et identifier collectivement le type de trajectoires vers lequel il est préférable de se rapprocher, et celles que l'on veut éviter. En s'appuyant sur les scénarios prospectifs, il y est également suggéré d'accompagner toute stratégie de transition d'indicateurs pour quantifier les besoins en énergie et en ressources, d'établir un cadre de contrôle des données personnelles et de prendre en compte le contexte québécois particulier.

Ainsi, à travers ces différentes parties, cet essai a tout d'abord montré que l'avenir n'est pas écrit. Il existe en effet une multitude de trajectoires d'évolution possibles pour la société québécoise. Ces différents futurs possibles peuvent même diverger radicalement, selon l'évolution de chaque variable qui compose le système. Il est aujourd'hui extrêmement difficile, sinon impossible, de déterminer avec confiance à quoi ressemblera le Québec de 2040. Une crise comme celle de la pandémie COVID-19 nous interroge déjà sur les interactions humaines, les modes de déplacement, et les régimes alimentaires qui seront possibles à l'avenir. Toutefois, les degrés d'incertitude ne signifient pas non plus que l'avenir est totalement inconnu. Nous savons par exemple que notre existence sur Terre devra, tôt ou tard, se contraindre aux limites planétaires pour assurer notre survie. Nous sommes ainsi capables d'imaginer les conséquences de certaines actions ou de l'inertie. Nous pouvons les anticiper pour mieux nous adapter, voire faire le nécessaire pour éviter les plus néfastes d'entre elles et provoquer celles qui nous semblent les plus désirables. Comme disait avec justesse Antoine de Saint-Exupéry « Pour ce qui est de l'avenir, il ne s'agit pas de le prévoir, mais de le rendre possible » (Saint-Exupéry, 1948).



## RÉFÉRENCES

- Abraham, Y.-M. (2020). *Guérir du mal de l'infini : produire moins, partager plus, décider ensemble*. Montréal, Québec : Écosociété.
- Accenture Security. (2019). *The cost of cybercrime*. Repéré à [https://www.accenture.com/\\_acnmedia/PDF-96/Accenture-2019-Cost-of-Cybercrime-Study-Final.pdf#zoom=50](https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-96/Accenture-2019-Cost-of-Cybercrime-Study-Final.pdf#zoom=50)
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME). (2017a). Épuisement des métaux et minéraux : faut-il s'inquiéter?.
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME). (2017b). Impacts du numérique au sein de l'industrie, au regard de la transition énergétique et écologique.
- Agence France Presse. (2018, 3 mars). Publicité : la « position écrasante » de Google et Facebook scrutée par l'Autorité de la concurrence. *Le Point*. Repéré à [https://www.lepoint.fr/high-tech-internet/publicite-en-ligne-la-position-ecrasante-de-google-et-facebook-examinee-06-03-2018-2200122\\_47.php](https://www.lepoint.fr/high-tech-internet/publicite-en-ligne-la-position-ecrasante-de-google-et-facebook-examinee-06-03-2018-2200122_47.php)
- Agence internationale de l'énergie (AIE). (2018). World energy outlook 2018. Repéré à <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018>
- Agence internationale de l'énergie (AIE). (2020). Clean energy progress after the Covid-19 crisis will need reliable supplies of critical minerals. Repéré à <https://www.iea.org/articles/clean-energy-progress-after-the-covid-19-crisis-will-need-reliable-supplies-of-critical-minerals>
- Ajana, B. (2017). Digital health and the biopolitics of the Quantified Self. *Digital Health*, 3, 2055207616689509.
- Anderson, T. (2019, 27 août). Want an ethical smartphone? Fairphone 3 is on the way. *The register*. Repéré à [https://www.theregister.com/2019/08/27/fairphone\\_3/](https://www.theregister.com/2019/08/27/fairphone_3/)
- Antunes, D. C., Maia, A. F. (2018). Big Data, exploration omniprésente et publicité ciblée: nouvelles facettes de l'industrie culturelle. *Psicologia USP*, 29(2), 189-199.
- Armatte, M. (2007). Les économistes face au long terme: l'ascension de la notion de scénario.
- Auzanneau, M. (2016). *Or noir: la grande histoire du pétrole*. Paris, France : La Découverte.
- Bakshy, E., Messing, S., et Adamic, L. A. (2015). Exposure to ideologically diverse news and opinion on Facebook. *Science*, 348(6239), 1130-1132.
- Barzman, M., Gerphagnon, M., Mora, O., Aubin-Houzelstein, G., Benard, A., Martin, C., ... et Hodson, S. (2019). Transition numérique et pratiques de recherche et d'enseignement supérieur en agronomie, environnement, alimentation et sciences vétérinaires à l'horizon 2040.
- Benhamou, S., et Janin, L. (2018). Intelligence artificielle et travail.
- Bihouix, P. (2014). *L'Âge des low-tech : vers une civilisation techniquement soutenable*. Paris, France : Le Seuil.
- Bihouix, P. (2019). *Le bonheur était pour demain : les rêveries d'un ingénieur solitaire*. Paris, France : Le Seuil.
- Bihouix, P. (2020). Consommation énergétique et cycle de vie des objets numériques : quels impacts environnementaux?. *Passerelle*, (21).
- Bihouix, P., et De Guillebon, B. (2010). *Quel futur pour les métaux*. Paris, France : EDP Sciences.

- Blocquaux, S. (2017). L'enfant au risque des pratiques numériques: vers une éducation au virtuel. *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, (2), 147-158.
- Bohn, D. (2019). Amazon says 100 million Alexa devices have been sold – what's next?. *The Verge*. Repéré à <https://www.theverge.com/2019/1/4/18168565/amazon-alexa-devices-how-many-sold-number-100-million-dave-limp>
- Bonnet, E., Landivar, D., Monnin, A., et Allard, L. (2019). Le design, une cosmologie sans monde face à l'Anthropocène. *Sciences du Design*, (2), 97-104.
- Bordage, F. (2019). Empreinte environnementale du numérique mondial. Repéré à [https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2019/10/2019-10-GREENIT-etude\\_EENM-rapport-accessible.VF\\_.pdf](https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2019/10/2019-10-GREENIT-etude_EENM-rapport-accessible.VF_.pdf)
- Bouchard, C. (2019, 18 octobre). 100 M\$ pour Internet haut débit en région. *Radio-Canada*. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1350098/nouvelle-strategie-brancher-regions-internet-haute-vitesse>
- Bourg, D. (2013). Peut-on encore parler de crise écologique?. *Revue d'éthique et de théologie morale*, (HS), 61-71.
- Bourse, F. et Godet, M. (2015). Méthodes de prospective. Repéré à <http://www.lapro prospective.fr/methodes-de-prospective/les-outils-version-cloud/2-scenaring-tools.html>
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., et Dirzo, R. (2017). Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the national academy of sciences*, 114(30), E6089-E6096.
- Centre facilitant la recherche et l'innovation dans les organisations (CEFRIO). (2019a). De quelle façon et avec quelle ampleur les adultes québécois ont-ils effectué des achats en ligne en 2018?
- Centre facilitant la recherche et l'innovation dans les organisations (CEFRIO). (2019b). La domotique dans les foyers québécois. Repéré à [https://cefrio.qc.ca/media/2234/netendances-2019\\_domotique-dans-les-foyers-quebecois.pdf](https://cefrio.qc.ca/media/2234/netendances-2019_domotique-dans-les-foyers-quebecois.pdf)
- Chemins de transition. (sous presse). Le projet. Repéré à <https://cheminsdetransition.org/>
- Chevré, C. (2019, 11 février). Gafam vs Batx : « Pour les gouverner tous ». *Magazine décideurs*. Repéré à <https://www.magazine-decideurs.com/news/gafam-vs-batx-pour-les-gouverner-tous>
- Cho, H., Ippolito, D., et Yu, Y. W. (2020). Contact tracing mobile apps for COVID-19: Privacy considerations and related trade-offs. *arXiv preprint arXiv:2003.11511*.
- Christian, J. (2018, 1 février). Experts fear face swapping tech could start an international showdown. *The Outline*. Repéré à <https://theoutline.com/post/3179/deepfake-videos-are-freaking-experts-out?zd=1&zi=k4g6r43j>
- Commissaire à l'environnement et au développement durable au Parlement du Canada. (2018). Rapport 3 – La conservation de la biodiversité. Repéré à [https://www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/parl\\_cesd\\_201804\\_03\\_f\\_42994.html](https://www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/parl_cesd_201804_03_f_42994.html)
- Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL). (2017). Objets connectés : n'oubliez pas de les sécuriser! Repéré à <https://www.cnil.fr/fr/objets-connectes-noubliez-pas-de-les-securiser>
- Connexions solidaires. (2016, 4 juillet). La numérisation facteur d'exclusion pour ceux qui cumulent précarité sociale et numérique. *Le Monde*. Repéré à <https://www.lemonde.fr/idees/article/2016/04/07/la-numerisation-facteur-d-exclusion-pour-ceux-qui-cumulent->

- Courrier International. (2019). Classement - Quelles sont les villes les plus « smart » du monde?. *Courrier International*. Repéré à <https://www.courrierinternational.com/article/classement-queelles-sont-les-villes-les-plus-smart-du-monde>
- Corea, F. (2019). The convergence of AI and blockchain. In *Applied Artificial Intelligence: Where AI Can Be Used In Business* (pp. 19-26). Springer, Cham.
- Cullen, H. (2016, 22 février). Changements climatiques et santé publique : tous concernés. *Agence Science Presse*. Repéré à <https://www.sciencepresse.qc.ca/blogue/2016/02/22/changements-climatiques-sante-publique-concernes-partie-2-2>
- Dilhac, M.A., Abrassart, C., et Voarino, N. (2018). *Déclaration de Montréal IA responsable*. Repéré à [https://5da05b0d-f158-4af2-8b9f-892984c33739.filesusr.com/ugd/ebc3a3\\_d806f109c4104c91a2e719a7bef77ce6.pdf](https://5da05b0d-f158-4af2-8b9f-892984c33739.filesusr.com/ugd/ebc3a3_d806f109c4104c91a2e719a7bef77ce6.pdf)
- Environnement Canada. (2019). *Rapport sur le climat changeant du Canada*. Repéré à [https://www.rncan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/energy/Climate-change/pdf/RCCC\\_FULLREPORT-FR-FINAL.pdf](https://www.rncan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/energy/Climate-change/pdf/RCCC_FULLREPORT-FR-FINAL.pdf)
- Eyl-Mazzega, M. A., et Mathieu, C. (2020). Transition énergétique: Chine, États-Unis et Union européenne. *Futuribles*, (3), 55-66.
- Fabre, M. (2019). *Education et (post) vérité. L'épreuve des faits*. Paris, France : Éditions Hermann.
- Federal Communications Commission. (2015). 2015 Broadband Progress Report. Repéré à <https://www.fcc.gov/reports-research/reports/broadband-progress-reports/2015-broadband-progress-report>
- Ferrand, M. H. H. (2015). Clis' Tab: premiers résultats d'un projet innovant. *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, (1), 191-206.
- Ferreboeuf, H. (2018). Pour une sobriété numérique. *Futuribles*, (429), 15-31.
- Finances Québec. (2019). Vos priorités, votre budget : plan budgétaire 2020-2021. Repéré à <http://www.budget.finances.gouv.qc.ca/budget-en-chiffres/#/mars-2020>
- Fondation Internet Nouvelle Génération (FING). (2016). Transition2, « ecology by design ».
- Fondation Internet Nouvelle Génération (FING). (2018). Transitions, cahier d'enjeux et de prospective.
- Forbes. (2014, 28 janvier). Why Amazon's Anticipatory Shipping Is Pure Genius. *Forbes*. Repéré à <https://www.forbes.com/sites/onmarketing/2014/01/28/why-amazons-anticipatory-shipping-is-pure-genius/#77e05cf04605>
- Future Earth. (2020). The D<sup>2</sup>S Agenda Research, Innovation, Action. Repéré à <https://sustainabilitydigitalage.org/>
- Futuribles International. (2018). L'analyse morphologique – Une méthode pour construire des scénarios prospectifs.
- France Stratégie. (2016). *Tirer parti de la révolution numérique*. Repéré à <https://www.strategie.gouv.fr/publications/20172027-tirer-parti-de-revolution-numerique#:~:text=L'enjeu%20est%20consid%C3%A9rable%20pour,attendre%2C%20il%20faut%20la%20provoquer.>
- Garnier, P. (2017). Témoignages d'enseignantes concernant les usages pédagogiques de la tablette numérique chez des élèves avec TSA. *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, (2), 99-117.

- Gartner. (2019). Gartner Forecasts Worldwide Information Security Spending to Exceed \$124 Billion in 2019. Repéré à <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-08-15-gartner-forecasts-worldwide-information-security-spending-to-exceed-124-billion-in-2019>
- Global Footprint Network. (2019). How Many Earths?. Repéré à <https://www.footprintnetwork.org/>
- Gouvernement du Québec. (2020). Dossier santé Québec. Repéré à <https://www.quebec.ca/sante/vos-informations-de-sante/dossier-sante-quebec/>
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2018). *Summary for Policymakers*. Repéré à <https://www.ipcc.ch/2018/10/08/summary-for-policymakers-of-ipcc-special-report-on-global-warming-of-1-5c-approved-by-governments/>
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2019). *Summary for Policymakers: Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Repéré à [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/02/SPM\\_Updated-Jan20.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/02/SPM_Updated-Jan20.pdf)
- Groupe Special Mobile Association (GSMA). (2017). Global Mobile Trends. Repéré à <https://www.gsma.com/globalmobiletrends/>
- Guigou, J.-L. (2007). *Réhabiliter l'avenir : la France malade de son manque de prospective*. Paris, France : Editions l'Harmattan.
- Guilbeault, S. (2019). *Le bon, la brute et le truand, ou, comment l'intelligence artificielle transforme nos vies*. Montréal, Québec : Druide.
- Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., ... et Goulson, D. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PloS one*, 12(10), e0185809.
- Harari, Y. N. (2017). *Homo deus: Une brève histoire de l'avenir*. Paris, France : Albin Michel.
- Heurgon, É. et Vieillard-Baron, L. (2007). Territoires et prospective : la RATP et La Poste en miroir. Les amis de l'École de Paris du management. Repéré à : [http://www.i-r-e.org/bdf/docs/a007\\_territoires-prospective-ratp-laposte.pdf](http://www.i-r-e.org/bdf/docs/a007_territoires-prospective-ratp-laposte.pdf)
- Hölscher, K., Wittmayer, J. M., et Loorbach, D. (2018). Transition versus transformation: what's the difference?. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 27, 1-3.
- Hurst, D. (2018, 18 février). Japan lays groundwork for boom in robot carers. *The Guardian*. Repéré à <https://www.theguardian.com/world/2018/feb/06/japan-robots-will-care-for-80-of-elderly-by-2020>
- Institut National de l'Économie Circulaire. (s. d.). L'économie circulaire. Repéré à <https://institut-economie-circulaire.fr/economie-circulaire/>
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) (2019). *The global assessment report on biodiversity and ecosystem services: summary for policymakers*. Repéré à [https://ipbes.net/system/tdf/ipbes\\_\\_global\\_assessment\\_report\\_summary\\_for\\_policymakers.pdf?file=1&type=node&id=35329](https://ipbes.net/system/tdf/ipbes__global_assessment_report_summary_for_policymakers.pdf?file=1&type=node&id=35329)
- Izoard, C. (2020). Les réalités occultées du « progrès technique » : inégalités et désastres socio-écologiques. *Passerelle*, (21).
- Jackson, P. C. (2019). *Introduction to artificial intelligence*. Mineola, NY : Courier Dover Publications.
- Jancovici, J.-M. (2019, 30 juillet). *Cours des mines 2019* [Vidéo en ligne]. Repéré à <https://www.youtube.com/watch?v=xgy0rW0oaFI>

- Jauréguiberry, F. (2014). La déconnexion aux technologies de communication. *Réseaux*, (4), 15-49.
- Jouvenel, H. D. (2002). Pour une prospective politique. *Futuribles*, (272).
- Karsenti, T. (2018). Le numérique dans nos écoles: usages, impacts et charge de travail.
- Karsenti, T., Bugmann, J. (2018). The Educational Impacts of Minecraft on Elementary School Students *Formation et profession*.
- Karsenti, T., et Fievez, A. (2013). The iPad in education: uses, benefits, and challenges—A survey of 6,057 students and 302 teachers in Quebec, Canada. Montréal, Québec : CRIFPE, 56.
- Kebaili, S. (2020). Mobiquité: la nouvelle forme? Le Journal du Net. Repéré à <https://www.journaldunet.com/economie/transport/1491555-mobiquite-la-nouvelle-norme/>
- Kelly, K. (2017). *The inevitable: understanding the 12 technological forces that will shape our future*. New York, NY : Penguin.
- Kohler, A. (2020). Relation entre IA symbolique et IA forte.
- La Planète s'invite à l'Université de Sherbrooke. (2019). *Réaction au lendemain de la sortie du budget de la Coalition Avenir Québec : communiqué de presse*.
- La Planète s'invite au Parlement. (2019). *C'est quoi l'urgence?*. Repéré à <https://laplanetesinvite.org/jeminforme/>
- Lascar, O. et Rouat, S. (2020, 30 mai). Décollage réussi pour la mission Launch America de SpaceX et la NASA. *Sciences et Avenir*. Repéré à [https://www.sciencesetavenir.fr/espace/exploration/direct-video-spacex-et-la-nasa-font-decoller-2-astronautes-une-premiere-en-11-ans\\_144639](https://www.sciencesetavenir.fr/espace/exploration/direct-video-spacex-et-la-nasa-font-decoller-2-astronautes-une-premiere-en-11-ans_144639)
- Ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES). (2019). *Chiffres clés du climat France, Europe et Monde*. Repéré à <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-05/datalab-46-chiffres-cles-du-climat-edition-2019-novembre2018.pdf>
- Ministère de l'Économie et de l'Innovation (MEIE). (s. d.). Feuille de route en économie numérique. Repéré à [https://www.economie.gouv.qc.ca/fileadmin/contenu/documents\\_soutien/strategies/economie\\_numerique/feuille\\_route\\_economie\\_numerique\\_accessible.html](https://www.economie.gouv.qc.ca/fileadmin/contenu/documents_soutien/strategies/economie_numerique/feuille_route_economie_numerique_accessible.html)
- Ministère de l'Économie et de l'Innovation (MEIE). (2019). Québec haut débit. Repéré à <https://www.economie.gouv.qc.ca/bibliotheques/programmes/aide-financiere/quebec-haut-debit/>
- Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement Supérieur (MEES). (2018). *Plan d'action numérique en éducation et en enseignement supérieur*. Repéré à [http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site\\_web/documents/ministere/PAN\\_Plan\\_action\\_VF.pdf](http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/ministere/PAN_Plan_action_VF.pdf)
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (s. d.). Les gaz à effet de serre. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/air/questce-ges.htm>
- Moille, C. (2020). L'omniprésence du numérique dans notre organisation sociale. *Passerelles*, (21).
- Murgia, M. et Gross, A. (2020, 27 mars). Inside China's controversial mission to reinvent the internet. *Financial times*. Repéré à <https://www.ft.com/content/ba94c2bc-6e27-11ea-9bca-bf503995cd6f>
- Newman, P. (2020, 7 janvier). IoT Report: How Internet of Things technology is now reaching mainstream companies and consumers. *Business Insider*. Repéré à <https://www.businessinsider.com/internet-of-things-report>

- Olivier, M. J. (2015). *Chimie de l'environnement: hydrosphère, atmosphère, lithosphère, technosphère* (8<sup>e</sup> édition). Longueuil, Québec : Lab éditions.
- Open Knowledge Foundation. (s. d.). What is open?. Repéré à <https://okfn.org/opendata/>
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (ONUAA). (2019). Comprendre pour mieux gérer les ressources en eau. Repéré à <http://www.fao.org/africa/news/detail-news/fr/c/1187380/>
- Organisation météorologique mondiale (OMM). (2018). La tendance à la hausse se poursuit : les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère ont atteint de nouveaux sommets en 2018. Repéré à <https://public.wmo.int/fr/medias/communiqu%C3%A9s-de-presse/la-tendance-%C3%A0-la-hausse-se-poursuit-les-concentrations-de-gaz-%C3%A0-effet>
- Parrique, T., Barth, J., Briens, F., Kerschner, C., Kraus-Polk, A., Kuokkanen, A., et Spangenberg, J. H. (2019). Decoupling debunked: Evidence and arguments against green growth as a sole strategy for sustainability.
- Péloquin, T. et Pilon-Larose, H. (2019, 2 novembre). Vol de données chez Desjardins : 4,2 millions de victimes. *La Presse*. Repéré à <https://www.lapresse.ca/actualites/justice-et-faits-divers/2019-11-02/vol-de-donnees-chez-desjardins-4-2-millions-de-victimes>
- Pingeot, M. (2017, 20 janvier). Pour mieux saisir la post-vérité, re-lire Hannah Arendt. *The Conversation*. Repéré à <https://theconversation.com/pour-mieux-saisir-la-post-verite-relire-hannah-arendt-71518>
- Polere, C. (2012). La prospective, les fondements historiques. *Direction de la prospective*.
- Poplin, R., Varadarajan, A. V., Blumer, K., Liu, Y., McConnell, M. V., Corrado, G. S., ... et Webster, D. R. (2018). Prediction of cardiovascular risk factors from retinal fundus photographs via deep learning. *Nature Biomedical Engineering*, 2(3), 158.
- Portnoff, A. Y. (2018). Santé et intelligence artificielle. À propos du rapport du Conseil de l'ordre des médecins sur l'impact de la diffusion du numérique sur la pratique de la médecine. *Futuribles*, (425), 53-58.
- Portnoff, A. Y., Soupizet, J. F. (2018). Artificial intelligence: Opportunities and risks. *Futuribles*, (5), 5-26.
- Rifkin, J. (2011). *The third industrial revolution: how lateral power is transforming energy, the economy, and the world*. New York, NY : Macmillan.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E., ... et Nykvist, B. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and society*, 14(2).
- Rolnick, D., Donti, P. L., Kaack, L. H., Kochanski, K., Lacoste, A., Sankaran, K., ... et Luccioni, A. (2019). Tackling climate change with machine learning. *arXiv preprint arXiv:1906.05433*.
- Sánchez-Bayo, F., Wyckhuys, K. A. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological conservation*, (232), 8-27.
- Sauvajol-Rialland, C. (2014). Infobésité, gros risques et vrais remèdes. *L'Expansion Management Review*, (1), 110-118.
- Schöpfel, J. (2015). Comprendre la littérature grise. *I2D Information, données documents*, 52(1), 30-32.
- Seoane, J., Capdevila, J. (2018). The right compound for the right target: tackling RET.
- Stamm, C. B. (2015). Si la transition écologique avait lieu... Une prospective sociologique pour élargir la discussion sur la responsabilité des entreprises. *Revue de l'organisation responsable*, 10(2), 75-87.

- Statista. (s. d.). E-commerce worldwide – Statistics & Facts. Repéré à <https://www.statista.com/topics/871/online-shopping/>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... et Folke, C. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855.
- Soupizet, J. F. (2020). La smart city: mythe et réalité. *Futuribles*, (1), 49-65.
- The Shift Project. (2018). Lean ICT – Pour une sobriété numérique. Repéré à <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2018/11/Rapport-final-v8-WEB.pdf>
- The Shift Project. (2019). Climat : l'insoutenable usage de la vidéo en ligne. Repéré à <https://theshiftproject.org/article/climat-insoutenable-usage-video/>
- The Shift Project. (2020). Déployer la sobriété numérique. Repéré à <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2020/01/2020-01.pdf>
- Valadier, P. (2017). Péril en démocratie: la post-vérité. *Etudes*, (5), 55-64.
- Valenduc, G. (2017). Au doigt et à l'œil. Les conditions de travail dans des environnements digitalisés. *Hesamag*, 16, 12-16.
- Ville de Montréal. (2019). Candidature finale de la Ville de Montréal. Défi des villes intelligentes du Canada. Repéré à <https://www.realisonsmtl.ca/4860/widgets/19370/documents/14366/download>
- Villemonteix, F., Hamon, D., Nogry, S., Séjourné, A., Hubert, B., et Gélis, J. M. (2015). Expérience tablettes tactiles à l'école primaire-ExTaTE.
- Wendling, C. (2018, 10 juin). *L'art de la prospective* [Sismique]. Repéré à <https://sismique.fr/podcast/lart-de-la-prospective-cecile-wendling/>
- Whitmore, J. et Pineau, P.O. (2020). État de l'énergie au Québec 2020. Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal, préparé pour Transition énergétique Québec.
- Wiederhold, B. K. (2017). Robotic Technology Remains a Necessary Part of Healthcare's Future Editorial.
- World Wildlife Fund (WWF). (2018) Rapport Planète Vivante 2018 : soyons ambitieux. Repéré à [https://www.wwf.ca/fr/a\\_propos/rapport\\_planete\\_vivante\\_2018/#:~:text=Le%20Rapport%20Plan%C3%A8te%20vivante%202018%20en%20est%20la%20douzi%C3%A8me%20%C3%A9dition.&text=Gr%C3%A2ce%20%C3%A0%20de%20multiples%20indicateurs,la%20nature%20et%20des%20humains.](https://www.wwf.ca/fr/a_propos/rapport_planete_vivante_2018/#:~:text=Le%20Rapport%20Plan%C3%A8te%20vivante%202018%20en%20est%20la%20douzi%C3%A8me%20%C3%A9dition.&text=Gr%C3%A2ce%20%C3%A0%20de%20multiples%20indicateurs,la%20nature%20et%20des%20humains.)
- Xu, C., Kohler, T. A., Lenton, T. M., Svenning, J. C., et Scheffer, M. (2020). Future of the human climate niche. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(21), 11350-11355
- York, R., Bell, S. E. (2019). Energy transitions or additions?: Why a transition from fossil fuels requires more than the growth of renewable energy. *Energy Research & Social Science*, 51, 40-43.
- Zuboff, S. (2019). *The age of surveillance capitalism: The fight for a human future at the new frontier of power*. Londres, Royaume-Uni : Profile Books.